

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil

Pedro Augusto Bracht

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE PAVIMENTAÇÃO URBANA – ESTUDO DE
CASO**

FLORIANÓPOLIS
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bracht, Pedro Augusto

Análise Técnica e Econômica de Pavimentação Urbana -
Estudo de Caso / Pedro Augusto Bracht ; orientadora,
Liseane Padilha Thives - Florianópolis, SC, 2016.
104 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentação Urbana. 3.
Pavimentos Flexíveis. 4. Pavimento Rígido de Concreto. 5.
Pavimento com Peças Pré-Moldadas de Concreto. I. Thives,
Liseane Padilha. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Pedro Augusto Bracht

**ANÁLISE TÉCNICA E ECNÔMICA DE PAVIMENTAÇÃO URBANA –
ESTUDO DE CASO**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 30 de Novembro de 2016.

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a Liseane Padilha Thives
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Msc. Keyla Junko Chaves Shinohara
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Há no Brasil um grande *déficit* de infraestrutura de pavimentação urbana, notoriamente em municípios de menor porte e em vias com baixo volume de tráfego. No Brasil predomina o uso da tecnologia de pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico. As prefeituras municipais, muitas vezes, não possuem normas de dimensionamento e optam por alternativas consagradas, o que nem sempre resulta na solução mais econômica. Percebe-se também que o emprego do pavimento rígido com placas de concreto de cimento Portland no Brasil restringe-se as vias com elevado volume de tráfego e ainda em locais propícios ao seu emprego, como é o caso dos corredores de ônibus. Todavia, o pavimento rígido tem sido utilizado em vias com tráfego leve, o que por vezes, não justifica a aplicação devido às baixas solicitações do tráfego e aos elevados custos de construção. Este trabalho procura avaliar alternativas de pavimentação para uma via com baixo volume de tráfego, com emprego de possíveis soluções, tais como, o pavimento rígido de concreto, pavimento flexível com peças pré-moldadas de concreto e o pavimento flexível asfáltico com revestimento de concreto asfáltico ou tratamento superficial. Os resultados obtidos através da estimativa de custos e de uma análise técnica entre as soluções indicam que, para o caso estudado, a melhor solução é a execução de um pavimento asfáltico com revestimento de tratamento superficial duplo.

Palavras chave: Pavimentação Urbana, Pavimento Rígido de Concreto, Pavimento Flexível, Pavimento com Peças Pré-moldadas de Concreto, Tratamentos Superficiais Betuminosos.

ABSTRACT

Brazil has an enormous deficit in urban pavement infrastructure, mainly in small municipalities and low traffic volume roads. The flexible asphalt surface pavement is the prevailing technology used throughout the country. Many municipalities do not have standards and procedures for pavement design, choosing commonly used alternatives without taking in consideration other methods to pave their roads, what sometimes is not the best economical decision. It is also perceived that the rigid concrete pavement is restricted to high traffic volume roads and specific locations such as bus lanes. On the other hand, rigid concrete pavement has been used in low traffic volume roads, which is sometimes not justified due to the low traffic loads and the high construction costs. This research aims to evaluate pavement alternatives for a low traffic volume road, using practicable solutions such as rigid concrete pavement, flexible concrete block pavement and flexible asphalt pavement, with asphalt concrete surface and bituminous surface treatment. The achieved result through cost and technical analysis shows that the best solution for the studied road is the construction of a flexible asphalt pavement with bituminous surface treatment.

Keywords: Concrete Pavement, Urban paving, flexible pavements, Concrete Block Pavements, Bituminous surface treatment.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Limites Legais de carga por eixo no Brasil	24
Quadro 2 - Classificação do tráfego.....	25
Quadro 3 - Tipos de sub-base utilizadas em pavimento de concreto.....	28
Quadro 4 - Fatores de Equivalência de Carga	54
Quadro 5 - Planilha auxiliar para dimensionamento	56
Quadro 6 - Quadro para a determinação de fator de segurança para as cargas	57
Quadro 7 - Dimensões da barra de transferência.....	64
Quadro 8 - Coeficientes de Equivalência Estrutural.....	65
Quadro 9 - Espessura mínima de revestimento asfáltico indicada	66
Quadro 10 - Fatores de carga utilizados.....	75
Quadro 11 - Fator de Veículo (FV)	75
Quadro 12 - Número N	76
Quadro 13 - Número de repetições do eixo dianteiro e traseiro no período de projeto	76
Quadro 14 - Empresa Local 1	77
Quadro 15 - Empresa Local 2.....	78
Quadro 16 - Empresa Local 3.....	78
Quadro 17 - Empresa Local 4.....	78
Quadro 18 - Característica dos materiais utilizados	78
Quadro 19 - Resumo da estimativa de custos.....	83
Quadro 20 - Planilha Orçamentária - Pavimento de Concreto	95
Quadro 21 - Planilha Orçamentária - TSD+TSD	96
Quadro 22 - Planilha Orçamentária - TSD+CA	97
Quadro 23 - Planilha Orçamentária - PPC	98
Quadro 24 - COMPOSIÇÃO 1	99
Quadro 25 - COMPOSIÇÃO 2.....	99
Quadro 26 - Memorial de Cálculo dos Quantitativos do Orçamento	100
Quadro 27 - Planilha Auxiliar dimensionamento PCA/1984	102
Quadro 28 - Número N a partir do ano 11	103
Quadro 29 - Composição SINAPI para a Base de Solo-Cimento	106
Quadro 30 - Composição SINAPI para a camada de Concreto Asfáltico.....	107
Quadro 31 - Composição SINAPI para a Base de brita graduada.....	107
Quadro 32 - Composição SINAPI para o Tratamento Superficial Duplo	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das tensões ocasionadas pelo tráfego em pavimento flexível e pavimento rígido	22
Figura 2 – Configurações de eixo	24
Figura 3- Central de Dosagem.....	26
Figura 4 -Vibroacabadora.....	26
Figura 5 -Rodovia Presidente Dutra (BR-116).....	27
Figura 6 - Corredor de Ônibus Avenida Senador Teotônio Vilella	27
Figura 7 - Serra do Rio do Rastro (SC-438).....	28
Figura 8 - Placas com Barras de Transferência	29
Figura 9 - Placa sem Barras de Transferência	29
Figura 10 – Perfil de um pavimento de concreto simples	30
Figura 11 - Perfil do pavimento de concreto simples com barras de transferência.....	30
Figura 12 – Perfil típico de um pavimento com armadura distribuída descontínua	31
Figura 13 - Perfil do pavimento de concreto continuamente armado	32
Figura 14 - Configuração da placa do pavimento estruturalmente armado	32
Figura 15 - Seção transversal típica da estrutura de um pavimento flexível com revestimento asfáltico	35
Figura 16 - Classificação das Bases e Sub-bases.....	36
Figura 17 - Esquema de aplicação dos tratamentos superficiais	38
Figura 18 - Seção da estrutura de um pavimento de PPC	41
Figura 19 - Tipos de deslocamentos individuais das PPC	42
Figura 20 - Tipos de Arranjo das PPC	43
Figura 21 - Tipos de blocos	44
Figura 22 - Blocos do Tipo 1.....	44
Figura 23- Efeito da espessura das PPC no desempenho do pavimento sob solicitações do tráfego	45
Figura 24 - Localização do trecho hipotético	51
Figura 25 - Carga Legal veículo padrão.....	52
Figura 26 - Fluxograma de Trabalho	53
Figura 27 - Relação entre o CBR e o coeficiente de recalque (k) do subleito	58
Figura 28 - Aumento de k devido à sub-base de solo-cimento	59
Figura 29 - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa) em pavimentos sem acostamento de concreto	60
Figura 30 - Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas com barra de transferência e pavimetnos sem acostamento de concreto	61
Figura 31 - Análise de Fadiga - Número de Repetições Admissíveis em função do fator de fadiga (pavimento com ou sem acostamento de concreto)	62
Figura 32 - Análise de Erosão - Número admissível de repetições de carga com base no Fator de Erosão (Pavimento sem acostamento de concreto).....	63
Figura 33 - Dimensões recomendadas para as placas de concreto	64
Figura 34 - Ábaco que fornece a espessura necessária de material com coeficiente estrutural $K=1,0$ que suportará determinado carregamento.....	66
Figura 35 - Simbologia adotada no dimensionamento das camadas	67
Figura 36 - Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples	69
Figura 37 - Espessura necessária de sub-base	70
Figura 38 - Espessura da base cimentada em função do número N	71
Figura 39 - Etapas para elaboração do orçamento	72

Figura 40 - Seção transversal pavimento com placa de concreto, escala em centímetros	80
Figura 41 - Placa de Concreto, escala em centímetros	80
Figura 42 - Seção transversal TSD, escala em centímetros	81
Figura 43 - Seção transversal Pavimento Asfáltico, escala em centímetros	81
Figura 44 - Seção Transversal Pavimento de PPC, escala em centímetros.....	82
Figura 45 - Comparativo entre os custos totais de cada solução	83
Figura 46 - Comparativo do custo inicial de cada solução	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas
BPR	<i>Bureau of Public Roads</i>
BDI	Bonificação de Despesas Indiretas
CA	Concreto Asfáltico
CBR	<i>California Bearig Ratio</i>
CDH	<i>California Division of Highways</i>
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i>
DMT	Distância Média de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FC	Fator de Equivalência de Carga
FV	Fator de Veículo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPI	<i>Interlocking Concrete Paving Institute</i>
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
N	Número equivalente de eixos padrão
P	Peso bruto total sobre o eixo
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PMQ	Pré Misturado a Quente
PMF	Pré Misturado a Frio
PPC	Peças Pré-Moldadas de Concreto
SICRO 2	Sistema de Custos Rodoviários 2
SINAPI	Sistema de Preços Custos e Índices da Construção Civil
TCU	Tribunal de Contas da União
TSS	Tratamento Superficial Simples
TSD	Tratamento Superficial Duplo

USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
VDM	Volume Médio Diário

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
1.3 LIMITAÇÕES	19
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 TIPOS DE PAVIMENTO	21
2.2. ESTUDO DE TRÁFEGO	22
2.2.1 Número N – Pavimentos Flexíveis	23
2.2.2. Cargas do tráfego para pavimentos rígidos.....	24
2.2.3 Classificação do tráfego.....	25
2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS COM REVESTIMENTO DE CONCRETO	25
2.3.1 Tipos de pavimento rígido de concreto	28
2.3.2 Métodos de dimensionamento dos pavimentos de concreto	33
2.4 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO	34
2.4.1. Tipos de Revestimento Asfáltico	36
2.4.2 Método de Dimensionamento DNER para pavimentos flexíveis	39
2.5 PAVIMENTO FLEXÍVEL COM REVESTIMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO (PPC)	40
2.5.1. A camada de rolamento	41
2.5.2. Areia de Assentamento	45
2.5.3. Outros elementos e camadas da estrutura	46
2.5.4. As Vantagens.....	46
2.5.5. Método de Dimensionamento de pavimento flexível de PPC	46
2.6 CUSTOS	47
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1 ENQUADRAMENTO	51
3.2 TRÁFEGO	54
3.2.1 Tráfego – Cálculo do Número N	54
3.2.2 Cargas do tráfego para pavimentos rígidos.....	55
3.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO – PCA 1984	56
3.4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL DE CA - DNER.....	65

3.5 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO – ET-27 ABCP	68
3.6 Custos	71
3.5.1. Definição das dimensões do trecho tipo	72
3.5.2. Levantamento dos serviços necessários para a execução da obra.....	72
3.5.3. Levantamento dos quantitativos	73
3.5.4. Pesquisa de preços médios/Custos Unitários dos serviços	73
4. RESULTADOS.....	75
4.1. Tráfego.....	75
4.1.2. Número N.....	75
4.1.2 Tráfego para pavimento rígido	76
4.2 FONTES DE MATERIAIS	77
4.3 PAVIMENTO RÍGIDO COM PLACAS DE CONCRETO	79
4.4 PAVIMENTO Flexível com revestimento asfáltico	80
4.5 PAVIMENTO Flexível com revestimento de PPC.....	81
4.6 CUSTOS	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICES	95
ANEXOS.....	105

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas habitáveis brasileiras nos últimos 15 anos com o acréscimo de 23 milhões de pessoas nas cidades do país de 2000 até 2010 (IBGE, 2010) foi acompanhado pelo aumento da demanda por serviços públicos de infraestrutura, tais como, pavimentação e drenagem urbana, que são serviços básicos para manter uma melhor condição de vida para os cidadãos. Para Prego (2001), nas últimas décadas no Brasil percebeu-se um acentuado impulso na pavimentação de vias urbanas devido à melhor organização dos municípios brasileiros, bem como a destinação de verba do governo federal às prefeituras para a execução de obras de infraestrutura, por meio da Constituição de 1988.

Entretanto, apesar de uma tentativa de melhor distribuição de recurso, no caso dos projetos de pavimentação, o Brasil ainda possui um grande *déficit* de vias urbanas pavimentadas. Esta realidade apresenta-se em quase todas as cidades brasileiras, abrangendo desde cidades de grande porte até vias de circulação de distritos e conjuntos habitacionais. Cita-se como exemplo a maior cidade do país, São Paulo-SP, que possui um *déficit* de aproximadamente 20 milhões de m² de pavimentação, bem como o município de Guarulhos-SP, que apesar de possuir uma rede pavimentada de 2,7 milhões de m², ainda necessita executar mais 800 mil m² (VILLIBOR et al., 2009).

A situação é mais crítica nas cidades de pequeno porte. A Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGETOP), em seu documento IT-02 (2016), aponta que um dos graves problemas enfrentados pelas prefeituras brasileiras, com destaque para aquelas de menor população, é a inexistência de profissionais de engenharia experientes em pavimentação urbana em seus quadros de funcionários. Essa carência de especialização pode resultar em obras de pavimentação que não atendem os requisitos de vida útil estimados ou geram dispêndio de recursos públicos além do necessário.

Villibor et al. (2009) afirmam que as prefeituras têm o hábito de executar sempre pavimentos de um determinado tipo, com determinada técnica construtiva, demonstrando grande resistência à inovação. Não experimentar novas alternativas de estruturas pode impedir que os municípios implantem formas mais econômicas e duradouras de pavimentar que vêm sendo desenvolvidas, testadas e utilizadas em outras partes do país e do mundo.

No Brasil há uma acentuada inclinação à adoção de revestimentos asfálticos em detrimento de outras técnicas, como demonstram os dados da *Central Intelligence Agency* (CIA), nos quais mais de 98% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. Balbo (2009) afirma que essa preferência justifica-se, além da questão dos custos,

pela ampla gama de apoio técnico e normativo dada à pavimentação asfáltica pelas agências oficiais, dentre outros fatores.

O pavimento de concreto vem sendo utilizado na pavimentação urbana para vias com tráfego muito pesado no Brasil, como é o caso dos corredores de ônibus em grandes cidades como São Paulo. Entretanto, para vias com tráfego leve, não há um consenso sobre a melhor solução de pavimentação. Balbo (2012) levanta o questionamento sobre a utilização de pavimento de concreto em vias de baixo volume de tráfego e afirma que a utilização desta solução apenas para vias com tráfego pesado é um mito consolidado em nossa cultura.

Neste trabalho serão discutidas três possíveis soluções de revestimento para uma via com baixo volume de tráfego em um município de pequeno porte. Pretende-se avaliar o emprego do pavimento rígido de concreto em obras de pavimentação em vias de tráfego leve através de um estudo de caso, analisando a viabilidade desta obra em termos técnicos e econômicos. Além disso, pretende-se comparar a solução anterior com outras alternativas como o pavimento flexível com peças pré-moldadas de concreto, o pavimento flexível asfáltico com revestimento de concreto asfáltico ou tratamento superficial duplo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de aplicação de pavimento rígido de concreto de cimento Portland em vias urbanas com baixo volume de tráfego.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Avaliar o emprego de pavimento rígido de concreto em comparação com o emprego das soluções: pavimento flexível asfáltico com revestimento de concreto asfáltico ou tratamento superficial duplo e pavimento flexível com peças pré-moldadas de concreto;

b) Realizar o dimensionamento das espessuras do pavimento para as seguintes soluções: pavimento rígido de concreto de cimento Portland, pavimento flexível com peças pré-moldadas de concreto e pavimento flexível asfáltico com revestimento asfáltico e com tratamento superficial duplo;

c) Avaliar a região de aplicação do pavimento quanto à disponibilidade de materiais para a execução das obras de pavimentação.

d) Realizar a análise financeira através do custo estimado de cada solução proposta.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução

No primeiro capítulo, será realizada a apresentação geral do assunto e dos objetivos gerais e específicos que delimitam as diretrizes deste trabalho, além das limitações do mesmo. A estrutura e a organização do trabalho também é apresentada.

Capítulo 2 – Revisão de literatura

O segundo capítulo aborda aspectos da literatura referente ao tema do trabalho: conceito, função e tipos de pavimentos. Após, serão abordados os estudos para caracterização do tráfego da via de projeto seguido da revisão de literatura de três tipos de pavimentos: pavimento rígido com placa de concreto, pavimento flexível asfáltico e pavimento flexível de peças pré-moldadas de concreto, descrevendo suas características, aplicações e seus respectivos métodos de dimensionamento.

Capítulo 3 - Materiais e métodos

No terceiro capítulo são expostos os materiais e dados utilizados para a caracterização da via de projeto bem como os métodos de dimensionamento necessários para atingir os objetivos propostos.

Capítulo 4 – Resultados

No quarto capítulo, são apresentados os resultados dos cálculos realizados através dos métodos de dimensionamento dos pavimentos, definindo as seções de projeto.

Capítulo 5: Considerações Finais

No quinto capítulo, as considerações finais serão realizadas a partir dos resultados obtidos no decorrer do trabalho.

Por fim, são listadas as **referências** utilizadas durante a execução deste trabalho e os **anexos e apêndices**.

1.3 LIMITAÇÕES

Há várias soluções de composição da estrutura de um pavimento. Porém, neste trabalho, optou-se pela análise de apenas três soluções de revestimento: asfáltico, peças pré-moldadas de concreto (PPC) e placas de concreto de cimento Portland. Estas foram escolhidas devido à sua

vasta utilização na região Sul do Brasil, possibilitando maior concorrência de empreiteiras capacitadas.

O desempenho do pavimento não depende apenas do tipo de revestimento, mas também dos tipos de base. Optou-se por analisar os casos de pavimento asfáltico e pavimento de PPC utilizando-se bases de brita graduada, devido à disponibilidade deste material na região onde o projeto será executado.

No pavimento de concreto adotou-se a base de solo-cimento por razões de durabilidade de estrutura, visto que a base possui não apenas funções estruturais, como também de proporcionar uma superfície de apoio regular à placa de concreto.

Desse modo, a limitação do trabalho está no fato de que as alternativas propostas foram analisadas com apenas um tipo de base e, também, haveria outras soluções de revestimento que poderiam ser avaliadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TIPOS DE PAVIMENTO

Para Bernucci et al. (2008) pode-se definir pavimento como:

uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2008).

As ações do tráfego de veículos podem ser expressas através de uma pressão vertical e uma ação tangencial aplicada entre pneu e pavimento. As ações do clima, por sua vez, são resultantes dos efeitos provocados pela variação de temperatura e da presença de água que influenciam no desempenho dos materiais utilizados, como por exemplo, as misturas asfálticas (FONTES, 2010).

O desafio do projetista de pavimentos é escolher os materiais e dimensionar a espessura das camadas constituintes da estrutura do pavimento para que o mesmo suporte as ações do tráfego e do clima, propiciando uma superfície de rolamento adequada ao tráfego dentro de um período de projeto. O dimensionamento terá uma vida útil, uma vez que o pavimento está submetido a um processo de degradação acumulativo dos seus materiais ocasionado a cada tensão provocada na estrutura (FONTES, 2010).

A associação de camadas de diferentes materiais resulta no comportamento diferenciado da estrutura destes pavimentos. Devido à essa resposta da estrutura às cargas solicitantes, os pavimentos podem ser classificados em três grupos principais: flexíveis, semi-rígidos e rígidos.

a) Pavimentos flexíveis

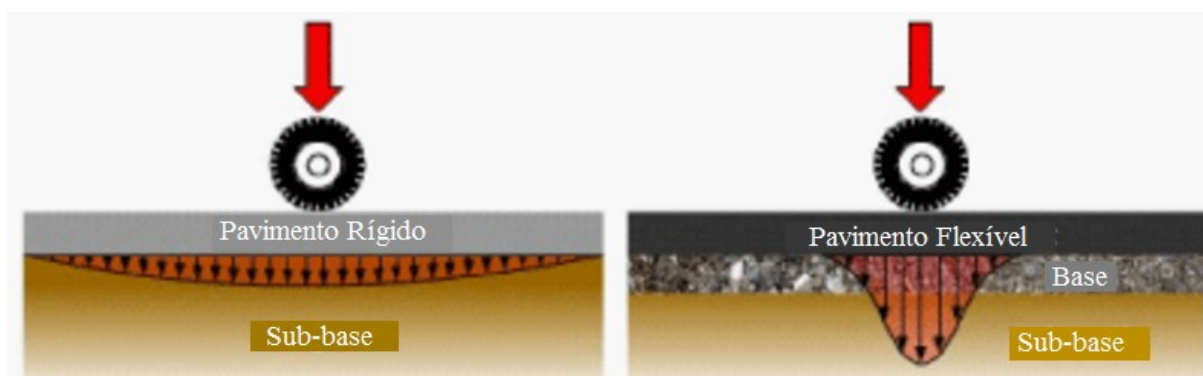
São aqueles em que as camadas constituintes da estrutura sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, distribuindo a carga em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (BRASIL, 2006b). Geralmente é constituído de uma ou mais camadas de misturas asfálticas apoiadas sobre bases granulares. Em geral, a camada asfáltica não possui espessura e rigidez suficiente para suportar e distribuir as tensões (FONTES, 2010). O pavimento em que seu revestimento é constituído por peças pré-moldadas de concreto possui comportamento semelhante a de um revestimento asfáltico, sendo então considerado um pavimento de comportamento flexível.

b) Pavimentos rígidos

O pavimento rígido é constituído por uma placa de concreto de cimento Portland apoiada diretamente sobre o solo ou sobre uma sub-base. Segundo Pessoa Júnior (2014), a placa de concreto desempenha ao mesmo tempo a função de base e de revestimento, dispensando muitas vezes a presença da camada de base. As tensões transmitidas pelo tráfego distribuem-se sobre a área da laje de concreto e, devido à elevada resistência desta camada, este pavimento não sofre deformações tão significativas quanto o pavimento flexível. A tensão transmitida pela placa de concreto às camadas subsequentes é uma fração mínima da carga atuante do tráfego.

A Figura 1 ilustra diferença na transmissão de tensão entre os pavimentos rígidos e os flexíveis:

Figura 1 - Distribuição das tensões ocasionadas pelo tráfego em pavimento flexível e pavimento rígido



Fonte: Adaptado de Lenz (2011).

c) Pavimentos semirrígidos

São aqueles que possuem características comuns aos pavimentos rígidos e flexíveis. São compostos, usualmente, por camadas de revestimento asfáltico apoiadas sobre bases constituídas por agregados estabilizados com ligante asfáltico. A camada de base possui elevada rigidez e absorve a maior parte dos esforços (FONTES, 2010).

Neste trabalho, serão apresentadas três soluções de estrutura de pavimento, sendo duas delas com comportamento flexível (pavimento asfáltico e pavimento com peças pré-moldadas de concreto) e uma dela com comportamento rígido (pavimento de concreto).

2.2. ESTUDO DE TRÁFEGO

Determinar o tráfego de projeto é de extrema importância para o dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento. O estudo de tráfego reflete as cargas que atuarão sobre

o pavimento e, juntamente com os valores relativos à capacidade de suporte do solo, serão os principais parâmetros do dimensionamento do pavimento.

2.2.1 Número N – Pavimentos Flexíveis

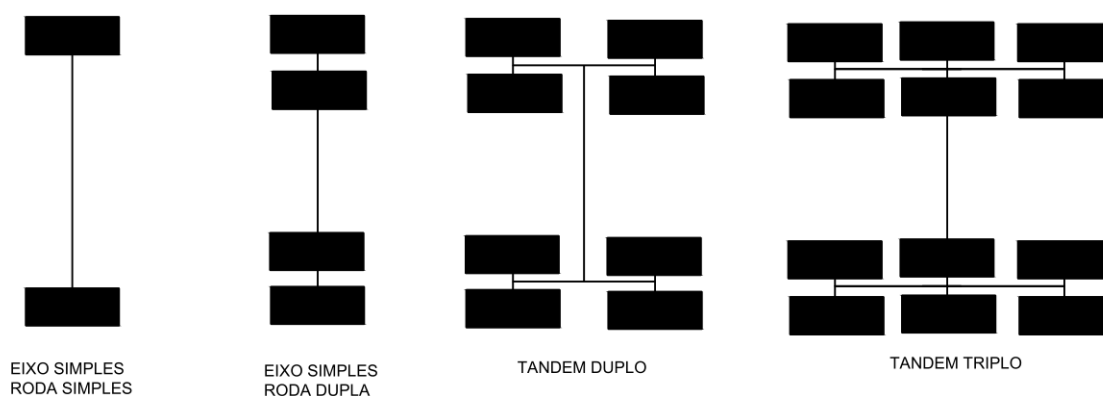
O número N, parâmetro utilizado no dimensionamento de pavimentos flexíveis, é a conversão de todas as solicitações do tráfego, em todo o seu universo de eixos e cargas, em um número equivalente de repetições de um eixo padrão (BALBO, 2007). Sua caracterização inicia com contagens de tráfego classificatórias e volumétricas realizadas em campo, no caso de vias existentes, em períodos curtos de tempo, com sua posterior expansão dos dados para que se descubra o Volume Diário Médio (VDM) anual. Outras maneiras de se caracterizar o VDM são através de analogias com dados de vias existentes e de natureza semelhante, séries históricas ou a partir de pesquisas do tipo origem-destino.

O tráfego atual da via é caracterizado pelo VDM obtido. No entanto, deve-se estimar o tráfego futuro para a maior precisão da análise das cargas atuantes no pavimento, adicionando-se taxas de crescimento relacionadas à séries históricas ou na associação com dados socioeconômicos regionais (BRASIL, 2006a).

Os dados obtidos através dos estudos de tráfego devem ser tratados e um dos passos necessários é a classificação da frota, uma vez que há grande diversidade de efeitos gerados no pavimento pelos diversos tipos de cargas atuantes (BRASIL, 2006a).

A classificação é definida pelos tipos e quantidade de eixos constituintes de cada veículo. Um eixo isolado é denominado simples e eixos em conjunto são denominados tandem. Caso a extremidade do eixo seja composta por apenas uma roda, ela é simples e, no caso de possuir duas rodas, será chamado de roda dupla. A Figura 2 exemplifica as configurações de eixo.

Figura 2 – Configurações de eixo



Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

No Brasil, a legislação estabelece o valor máximo de carga por eixo de acordo com o tipo de eixo, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Limites Legais de carga por eixo no Brasil

Eixo	Limite Legal (tf)
Simples Roda Simples	6
Simples Roda Dupla	10
Eixo Duplo	12
Tandem Duplo	17
Tandem Triplo	25,5

Fonte: Adaptado de BRASIL (2006a).

Os efeitos destrutivos provocados por cargas distintas em estruturas idênticas são desiguais ao longo do tempo. A necessidade de definir e quantificar estes efeitos resultou na criação e adoção de fatores de equivalência de carga. Para Yoder e Witczak (1975) estes fatores definem o dano causado pela passagem de um veículo qualquer, para um dado tipo de pavimento, em relação ao dano causado pela passagem de um veículo arbitrariamente escolhido como padrão, para o mesmo tipo de pavimento.

A partir dos dados de volume de tráfego, classificação da frota e das cargas atuantes por eixo, define-se o número de repetições equivalentes N do eixo padrão, que é o eixo simples de rodagem dupla de 8,2 tf.

2.2.2. Cargas do tráfego para pavimentos rígidos

No dimensionamento da espessura dos pavimentos rígidos o tratamento dos dados de tráfego ocorre através da verificação isolada do efeito provocado pelos tipos de carga e eixo e

seu posterior somatório, visto que efeito de cada carga no período de projeto é analisado separadamente.

2.2.3 Classificação do tráfego

Seguindo parâmetros de classificação do tráfego utilizados pela Prefeitura Municipal de São Paulo, adota-se neste trabalho a classificação representada no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação do tráfego

Tráfego Leve	Ruas de característica essencialmente residenciais, para as quais não é previsto tráfego de ônibus, podendo existir, ocasionalmente, passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizando um número 'N' típico de 10^5 para projetos de 10 anos
Tráfego Médio	Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número 'N' típico de 5×10^5 para período de projeto de 10 anos
Tráfego Meio Pesado	Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número 'N' típico de 2×10^6 para período de projeto de 10 anos
Tráfego Pesado	Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número 'N' típico de 2×10^7 para período de projeto de 10 a 12 anos
Tráfego Muito Pesado	Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número 'N' típico de 2×10^7 para período de projeto de 12 anos

Fonte: Adaptado de São Paulo (2004b).

2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS COM REVESTIMENTO DE CONCRETO

Os pavimentos de concreto são aqueles cuja camada de rolamento é produzida com concreto e que pode ser executado através de diversas técnicas de manipulação do mesmo, como pré-moldagem ou produção *in loco*.

De acordo com Senço (1997), os ingleses foram os precursores dos pavimentos rígidos, iniciando sua construção em 1865. Balbo (2007) menciona que, nos Estados Unidos da América o primeiro pavimento de concreto foi construído na cidade de Bellefontaine, Ohio, em 1891. No Brasil, segundo Reis (1995), a primeira construção deste tipo data de 1922, com a execução de um trecho de 8 quilômetros no local mais íngreme da Serra do Mar, na Rodovia Caminho do Mar, atual rodovia SP-148.

A durabilidade proporcionada pelo pavimento de concreto é uma de suas principais vantagens, resultando em uma via que requer pouca manutenção. Para Oliveira (2000), isso ocorre devido ao fato de o concreto não deteriorar com a ação da chuva, de óleos ou de

combustíveis e de sua deformação não ser capaz de formar trilhas de rodas. Carvalho (2007) afirma que a placa de concreto não sofre deformações plásticas, inexistindo formação de buracos e garantindo elevada durabilidade à estrutura e, por consequência, maior segurança aos usuários, reduzindo o número de acidentes relacionados a condição da via. Este desempenho só ocorre excluindo-se situações de exceção, como o caso de vias em condição de adensamento, condição em que a estrutura de pavimento de concreto não seria a melhor opção.

A solução em pavimento rígido de concreto é ideal para vias públicas e rodovias submetidas a tráfego intenso e pesado de veículos comerciais (CARVALHO, 2007). O custo total, correspondente à soma do custo inicial de construção e do custo anual de manutenção na vida útil projetada, torna-se competitivo com a introdução de novas tecnologias e equipamentos para seu processo construtivo. Como exemplo, citam-se as usinas dosadoras e misturadoras transportáveis de concreto (Figura 3) e as vibroacabadoras de fôrmas deslizantes (Figura 4), que tornaram possível a construção de segmentos com até 1,5 quilômetros de extensão em um único dia de trabalho, produtividade que era muito difícil de ser alcançada com a moldagem de formas *in loco* e na produção de concreto em betoneiras.

Figura 3- Central de Dosagem



Fonte: ABCP (2015).

Figura 4 -Vibroacabadora



Fonte: ABCP (2015b).

Exemplos de obras de pavimento rígido realizadas no Brasil são a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) em São Paulo, o Corredor de Ônibus da Avenida Senador Teotônio Villela, na cidade de São Paulo e a Serra do Rio do Rastro (SC-438) em Santa Catarina, representadas nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente. Ressalta-se o bom desempenho do pavimento de concreto no trecho de 7 quilômetros da Serra do Rio do Rastro, dimensionado com pavimento de concreto

simples com placas de 200 milímetros de espessura sobre base de concreto rolado de 100 milímetros, onde após 15 anos de uso, com um tráfego de 1,3 mil veículos diários, apenas 6% das placas necessitaram reconstrução (BALBO, 2009).

Figura 5 -Rodovia Presidente Dutra (BR-116)



Fonte: ABCP (2009).

Figura 6 - Corredor de Ônibus Avenida Senador Teotônio Vilella



Fonte: ABCP (2009).

Figura 7 - Serra do Rio do Rastro (SC-438)



Fonte: ABCP (2009).

A estrutura de um pavimento rígido é geralmente composta por uma placa de concreto de cimento Portland apoiada sobre uma sub-base, ambos formando a estrutura do pavimento e apoiados sobre o subleito. A sub-base possui a função de aumentar o suporte da fundação além de uniformizar a região onde a placa está apoiada e evitar o bombeamento de finos. A mesma pode ser constituída de diferentes formas, como mostra o Quadro 3:

Quadro 3 - Tipos de sub-base utilizadas em pavimento de concreto

Sub-base para pavimento de concreto	Sub-bases granulares	Granulometria fechada	
		Granulometria aberta	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento Solo melhorado com cimento Brita graduada tratada com cimento Concreto rolado
		Com outros aditivos	Asfalto Cal Pozolana

Fonte: Brasil (2005).

Nota-se que as sub-bases tratadas conferem maior rigidez ao sistema, fato extremamente importante no sentido de manter a superfície de apoio da placa de concreto sempre uniforme, evitando que a mesma sofra esforços não previstos no dimensionamento.

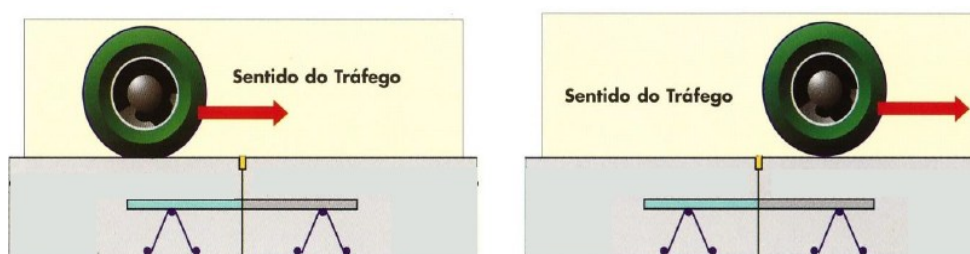
2.3.1 Tipos de pavimento rígido de concreto

Há diversas formas de compor a estrutura de um pavimento rígido, variando principalmente na adição ou não de armadura na placa de concreto. É possível construí-lo com

concreto simples, armado, protendido, com adição de fibras, com concreto rolado ou com concreto de alta resistência. Esta placa pode ser apoiada diretamente sobre o solo, ou sobre a sub-base, ou até mesmo sobre pavimentos antigos (OLIVEIRA, 2000).

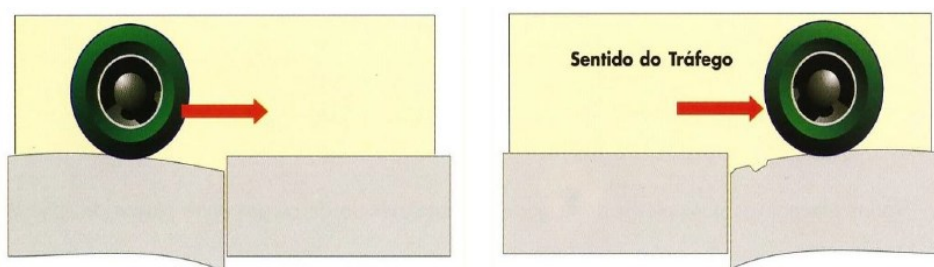
Pessoa Júnior (2014) salienta que na construção do pavimento rígido recomenda-se a inserção de barras de aço nas regiões limítrofes entre placas consecutivas, como pode ser observado na Figura 9, chamadas de barras de transferência. Estas previnem a quebra das extremidades das placas de concreto causadas pelo surgimento de um esforço vertical, exemplificado na Figura 8, provocado pela passagem dos pneus dos veículos sobre as extremidades contíguas de duas placas. Estas barras de transferências não são, no entanto, consideradas como armaduras. Conforme Oliveira (2000), seu emprego em pavimentos rígidos no Brasil é frequente, restringindo os pavimentos de concreto sem barras de transferência às vias de baixo volume de tráfego e cargas de pequena intensidade.

Figura 8 - Placas com Barras de Transferência



Fonte: ABCP (2012).

Figura 9 - Placa sem Barras de Transferência



Fonte: ABCP (2012).

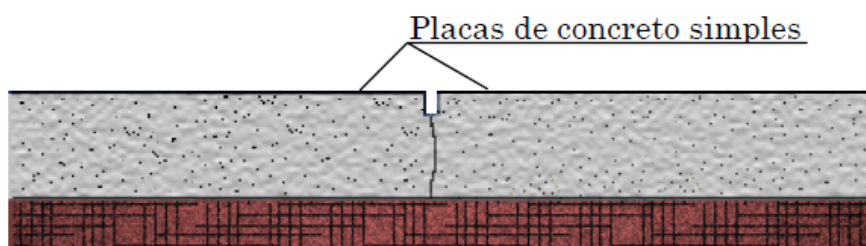
De acordo com a classificação apresentada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) os tipos de revestimentos dos pavimentos rígidos são divididos nos tipos descritos a seguir.

a) Pavimento de concreto simples

São placas de concreto de cimento Portland apoiadas sobre a fundação que não possuem nenhum componente de aço em sua estrutura (BRASIL, 2005), como pode ser visto na Figura

10 e, tanto os esforços de tração quanto os de compressão são resistidos exclusivamente pelo concreto (OLIVEIRA, 2000). Devido à esta razão, exigem-se placas curtas, na ordem de 5 metros a 6 metros (BRASIL, 2005), separadas por juntas moldadas ou serradas que controlam a fissuração provocada pela dilatação térmica, retração e empenamento (OLIVEIRA, 2000). Caso essas juntas não existissem, ou seja, a placa fosse construída de forma contínua, teríamos fissuras induzidas, transversalmente devido à contração do concreto e longitudinalmente devido ao empenamento restringido da placa.

Figura 10 – Perfil de um pavimento de concreto simples

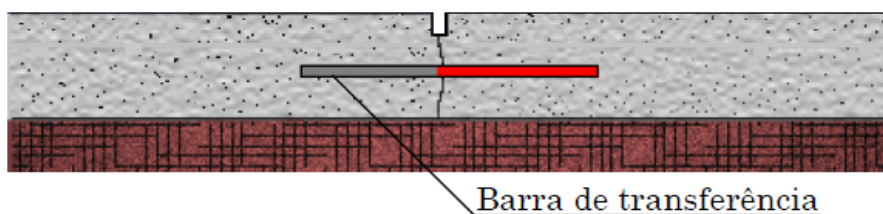


Fonte: Oliveira (2000).

b) Pavimento de concreto simples com barras de transferência

Diferenciam-se do pavimento de concreto simples por possuírem barras de transferência (Figura 11) com o intuito de transferir esforços entre as placas, não sendo consideradas, no entanto, como armaduras. São barras de aço liso, postadas na meia-seção das juntas transversais e que permitem que haja comprimentos de placa maiores que do pavimento de concreto simples (BRASIL, 2005). Para ABCP (2015), os pavimentos de concreto simples com barras de transferência podem variar seus comprimentos de 4 a 7 metros.

Figura 11 - Perfil do pavimento de concreto simples com barras de transferência

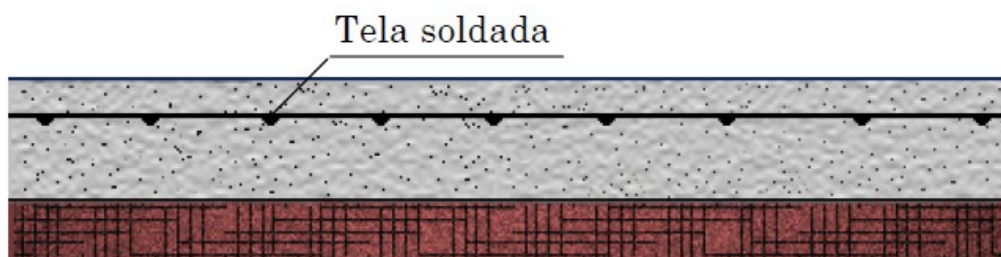


Fonte: Adaptado de Oliveira (2000).

c) Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua

Este tipo de pavimento diferencia-se dos citados anteriormente por possuir malhas de aço posicionadas acima do plano médio da seção, com a finalidade de inibir/mitigar a

Figura 13 - Perfil do pavimento de concreto continuamente armado

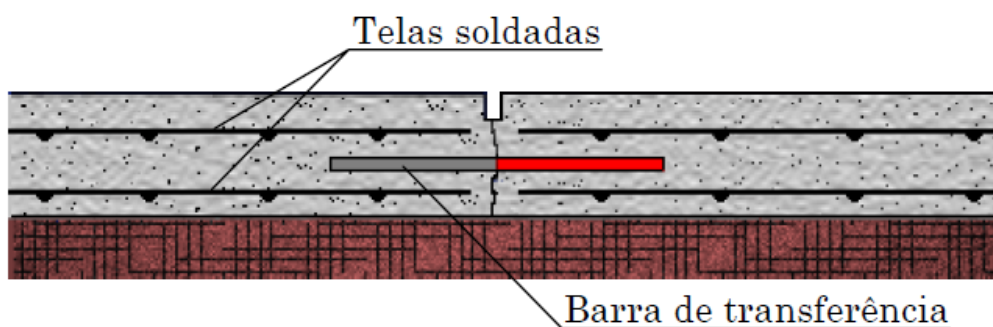


Fonte: Oliveira (2000).

e) Pavimento de concreto estruturalmente armado

De acordo com Maggi (2004), estes pavimentos possuem armadura próxima à face inferior, com o objetivo de resistir às tensões provenientes do momento fletor (Figura 14), possibilitando sua construção com espessuras inferiores às dos pavimentos de concreto simples, uma vez que o concreto não é o único a contribuir na resistência da estrutura.

Figura 14 - Configuração da placa do pavimento estruturalmente armado



Fonte: Oliveira (2000).

f) *Whitetopping*

O pavimento *Whitetopping* é uma camada de reforço executada em concreto de cimento Portland utilizada na reabilitação de pavimentos asfálticos. Com a aplicação da camada, o pavimento antigo existente passa a ter o desempenho de um pavimento rígido novo com todas as vantagens inerentes a esta configuração de estrutura (BRASIL, 2005).

2.3.2 Métodos de dimensionamento dos pavimentos de concreto

Os métodos de dimensionamento de pavimentos são realizados a partir de modelos físicos e matemáticos que procuram representar o comportamento de materiais e da própria estrutura. Como há uma complexidade muito grande nestes elementos, são adotadas simplificações que possibilitam a resolução do problema (OLIVEIRA, 2000).

No caso do dimensionamento de pavimentos, procura-se a espessura das camadas componentes na estrutura que irão garantir o desempenho da mesma para determinado volume de solicitações (representadas pelo tráfego da via), suporte da fundação e vida útil do projeto.

Segundo Oliveira (2000), os pavimentos de concreto estão submetidos a ações diretas – forças ou pressões aplicadas à estrutura, como o tráfego – e ações indiretas: retração, dilatação térmica e empenamento. O tráfego provoca também o fenômeno da fadiga, que ocorre quando uma força atua repetidamente e pode provocar a ruptura da estrutura a tensões abaixo da tensão limite.

O método adotado pelo DNIT, no Brasil, é o proposto pela *Portland Cement Association* (PCA) em 1966 e posteriormente modificado em 1984. O primeiro método, datado de 1966, baseava-se nas equações desenvolvidas por Westergaard que publicou artigos sobre a determinação de tensões, momentos fletores e deslocamentos em placas elásticas delgadas apoiadas sobre líquido denso. As equações propostas por Westergaard foram testadas em um experimento nos anos 1930, de forma instrumentada e monitorada, conhecido como *Arlington Experimental Farm*, coordenado pelo *Bureau of Public Roads* (BPR), dos Estados Unidos (BALBO, 2007).

Pereira (2003) afirma que com o avanço da informática e do desenvolvimento do modelo de elementos finitos, foi possível alcançar uma maior precisão na representação das condições mecânicas que as placas de concreto estão sujeitas em campo, além da possibilidade de inclusão das barras de transferência de carga nos cálculos.

A partir destes avanços teóricos aliados à coleta de dados experimentais de pavimentos construídos utilizando o Método PCA 1966, notoriamente em experimentos como o *AASHO Road Test*, a PCA otimizou o dimensionamento de pavimentos rígidos através de novos modelos de fadiga - caracterizado pelo efeito da aplicação repetitiva de cargas - e da inserção do critério de ruptura por erosão (bombeamento de finos). Além disso, o novo método considera a inserção de elementos estruturais como as barras de transferência entre placas e da transferência de carga por intertravamento dos agregados na borda longitudinal da pista, quando da existência de acostamento de concreto, aliviando as tensões nas placas.

O método da PCA 1984 oferece, portanto, a espessura necessária da placa de concreto de cimento Portland que irá resistir satisfatoriamente às diversas cargas que o pavimento estará submetido ao longo da sua vida útil, levando em conta principalmente o consumo que tais cargas provocarão na resistência à fadiga da placa e à erosão da superfície que a mesma está apoiada.

Alguns fatores estudados são de extrema relevância para o conhecimento de todos que utilizam este método de dimensionamento, tal qual a importância do trabalho de contagem e projeção de tráfego que, segundo Oliveira (2000), verifica-se que o número de solicitações é de grande importância no dimensionamento dos pavimentos rígidos.

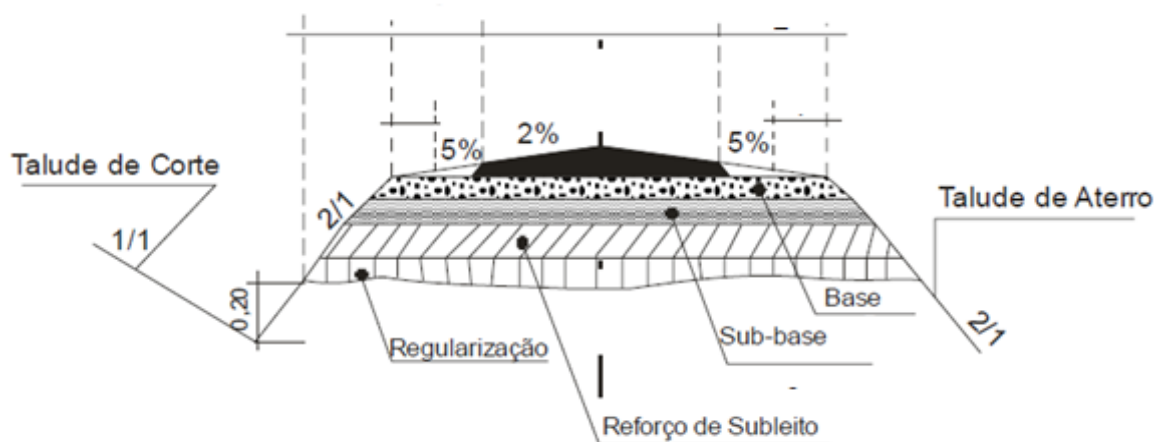
Além disso, apesar da variação na capacidade de suporte do solo ter pouca influência na espessura final do pavimento rígido de concreto, a adoção de sub-base é aconselhável para a regularização da fundação e para a redução do processo de bombeamento de finos (OLIVEIRA, 2000).

Balbo (2003) concluiu que seria necessário o desenvolvimento de uma metodologia de dimensionamento de pavimentos de concreto ajustada às condições de tráfego, clima e materiais do Brasil. A conclusão é um importante alerta aos projetistas no que tange ao comportamento de estruturas dimensionadas em regiões com condições distintas das americanas.

2.4 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Os pavimentos flexíveis asfálticos são aqueles cujo revestimento é constituído por uma mistura composta de agregados e ligantes asfálticos. Sua estrutura é formada por outras camadas além do revestimento: camada de ligação (ou binder), base, sub-base e reforço do subleito, representada na Figura 15. Dependendo do tráfego local e da qualidade dos materiais disponíveis pode-se ter a ausência de algumas camadas (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 15 - Seção transversal típica da estrutura de um pavimento flexível com revestimento asfáltico



Fonte: Brasil (2006b).

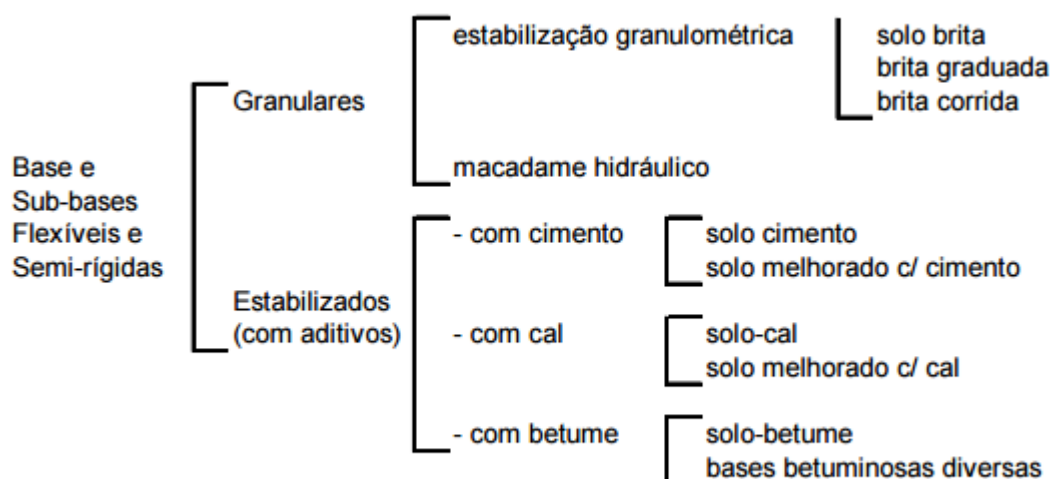
O primeiro pavimento com revestimento asfáltico foi construído em 1870 em Newark, New Jersey (EUA), por intermédio do químico belga E.J. De Smedt. Em 1876 foi executado pela primeira vez o revestimento asfáltico do tipo com *sheetasphalt* (mistura de asfalto, areia e filer) em Washington D.C. (EUA) com material asfáltico importado de lago (Asphalt Institute, 1973).

Para Balbo (2007) no início do século XX era comum o emprego da expressão “macadamizar” no Brasil, significando a execução de camada de macadame hidráulico ou asfáltico sobre os subleitos, o que era uma forma de pavimentação das estradas de terra. O emprego amplo de misturas asfálticas em uma grande extensão e de forma expressiva foi realizado pela primeira vez também no século XX na construção do Caminho do Mar, rodovia SP-148 que liga São Paulo a Cubatão. Entretanto, há registros mais antigos do emprego de misturas asfálticas em obras urbanas, como a Rua 24 de Maio (1910) na cidade de São Paulo.

Para Fontes (2010) a camada de revestimento asfáltico é responsável por resistir às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, além de impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de conforto e segurança. A camada de base possui a função complementar estrutural de resistir às ações impostas à estrutura, além de reduzir as deformações da camada de revestimento. As camadas de sub-base e reforço do subleito têm as mesmas funções da camada de base e são executadas quando, por razões econômicas, tem-se a intenção de reduzir a espessura da base e da sub-base, respectivamente.

As camadas de base e sub-base podem ser executadas de diferentes maneiras. Sua classificação é exemplificada na Figura 16.

Figura 16 - Classificação das Bases e Sub-bases



Fonte: Brasil (2006b).

A decisão do projetista entre os diversos tipos de bases e sub-bases levará em conta, principalmente, a disponibilidade do material na região do projeto e o seu custo. Uma composição geralmente utilizada na região sul do Brasil, e que será dimensionada no estudo de caso deste trabalho, é a base de brita graduada sobre uma sub-base, quando necessária a adoção desta, de macadame hidráulico ou seco.

A base de brita graduada consiste na execução desta camada com materiais que são produtos exclusivamente de britagem e são estabilizados granulometricamente para que sejam atingidos índices geotécnicos específicos.

O macadame hidráulico, segundo o DNIT (BRASIL, 2006b) é uma camada de brita de graduação aberta de tipo especial que tem os vazios preenchidos por material de enchimento (geralmente finos de britagem ou solos de granulometria e plasticidade apropriadas) após compressão. A penetração do material de enchimento ocorre pelo espalhamento do mesmo na superfície, seguido de varredura, compressão e irrigação. No caso da técnica de macadame seco, a irrigação é dispensada.

2.4.1. Tipos de Revestimento Asfáltico

Os revestimentos asfálticos podem ser executados por duas maneiras principais, segundo Bernucci et al. (2008): por penetração ou por mistura. Quando por mistura, o agregado é pré-envolvido com material asfáltico antes da compressão, normalmente em usina. Por penetração

aplica-se o material asfáltico sobre o agregado disposto no local de aplicação e em seguida comprime-se o conjunto, podendo ser realizada esta operação, também, de forma invertida. O espalhamento e a compressão podem ser realizados uma ou mais vezes.

Os tipos de revestimentos asfálticos abordados neste trabalho não compreendem todo o universo de possibilidades disponíveis para a execução de um revestimento de pavimento com este material. Entretanto, os que aqui estão descritos são os mais comumente utilizados na região do estudo de caso.

a) Misturas Usinadas

A mistura entre os agregados e o ligante asfáltico é realizada em usina estacionária e, em seguida, transportada através de caminhões ao local de aplicação, onde se utilizam vibroacabadoras para o lançamento apropriado do material. Em seguida, compacta-se a mistura até atingir um grau de compressão pré-determinado que garanta um arranjo estrutural estável e resistente às ações repetidas da passagem do tráfego. É desta forma que se prepara a mistura mais comum e tradicional utilizada no Brasil, o Concreto Asfáltico (CA) (BERNUCCI et al., 2008).

O CA é uma mistura proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico realizada a uma temperatura previamente determinada, de acordo com as características de viscosidade e temperatura do ligante. Outras importantes misturas usinadas são os Pré-misturados a quente (PMQ) e a frio (PMF). Para Balbo (2007), os Pré-misturados a quente são misturas semelhantes ao Concreto Asfáltico, porém sem a camada de enchimento e geralmente compostos por apenas dois tipos de agregados. Essa configuração resulta em uma mistura com maior índice de vazios e em uma camada mais flexível que o CA, embora sejam menos custosos. São mais utilizados como camada de regularização ou de ligação.

O PMF, para Balbo (2007), trata-se da mistura de agregados e emulsões asfálticas – que são materiais asfálticos pouco viscosos – à temperatura ambiente com o auxílio de um equipamento misturador, sem a necessidade de aquecimento dos componentes. Este material não apresenta idênticos padrões mecânicos de um CA e possui, também, maior índice de vazios. Recomenda-se sua aplicação para camadas de base ou de regularização em um pavimento existente.

b) Misturas *In Situ* em Usinas Móveis

São misturas realizadas em usinas móveis que promovem a mistura agregado-ligante imediatamente antes de sua aplicação. São utilizadas, principalmente, para selagem e

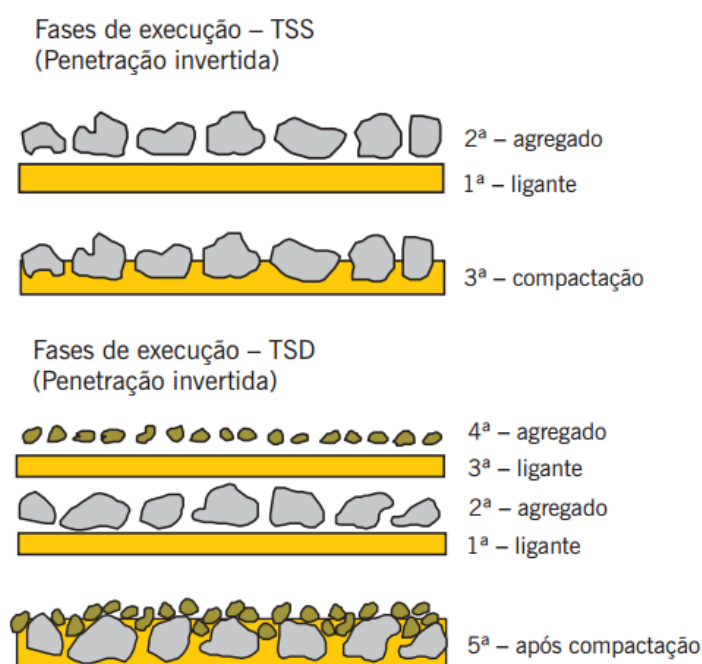
restauração de características funcionais. Sua produção resulta em misturas relativamente fluidas, como é o caso da lama asfáltica e do microrevestimento (BERNUCCI et al., 2008).

A lama asfáltica é uma mistura bastante fluida de agregados miúdos, filer (material de enchimento) e emulsão asfáltica. O microrevestimento, para Bernucci et al. (2008) pode ser considerado uma evolução das lamas asfálticas porque, apesar de utilizar-se da mesma concepção, possui vida útil maior devido à utilização de emulsões modificadas por polímeros. Ambos podem ser utilizados, além da manutenção, para revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego.

c) Tratamentos Superficiais

Os tratamentos superficiais são aplicações de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia, na pista, e sua posterior compactação que promoverá o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes. Esse tratamento proporciona uma camada de rolamento de pequena espessura, porém com alta resistência ao desgaste, com características antiderrapante, além de impermeabilizar e proteger a infraestrutura do pavimento (BERNUCCI et al., 2008). A Figura 17 exemplifica o processo de aplicação de dois tipos de tratamento superficial: o tratamento superficial simples (TSS) e o tratamento superficial duplo (TSD). O exemplo ilustra a aplicação dos tratamentos superficiais de forma invertida, ou seja, com o espalhamento do ligante realizado antes do espalhamento do agregado.

Figura 17 - Esquema de aplicação dos tratamentos superficiais



Fonte: Bernucci et al (2008).

Para Bernucci et al. (2008) os tratamentos superficiais não aumentam substancialmente a resistência estrutural do pavimento devido à sua pequena espessura. Entretanto, à medida que as emulsões asfálticas evoluem é possível obter bons resultados para vias de baixo volume de tráfego, caso frequente em ruas e estradas municipais vicinais.

2.4.2 Método de Dimensionamento DNER para pavimentos flexíveis

O método de dimensionamento utilizado pelo DNIT e muito utilizado por diversas agências estaduais e municipais brasileiras, é um método semi-empírico adaptado pelo Prof. Murilo Lopes de Souza do método utilizado pelo *United States Army Corp of Engineers* (USACE). O método objetiva a proteção do subleito contra a geração de deformações plásticas excessivas durante o período de projeto (BRASIL, 2006b).

Os métodos semi-empíricos são gerados através de extrapolações teóricas e racionais de modelo observacional obtido através de acúmulo de dados de diversas experiências. O método utilizado atualmente no Brasil deriva da parametrização das estruturas de pavimento por meio dos valores de *California Bearing Ratio* (CBR) de suas camadas. Este critério é atribuído ao engenheiro O.J. Porter (AHLVIN, 1991), que atuava no *California Division of Highways* (CDH) e representa a resistência mecânica do solo à uma penetração padrão. O critério básico de ruptura deste método é aquele por cisalhamento do subleito e das camadas granulares que causa o aparecimento de sulcos nas deformações permanentes (trilhas de roda) ou rupturas plásticas no subleito (BALBO, 2007).

A necessidade da construção de aeroportos militares durante a Segunda Guerra Mundial demandava um critério de dimensionamento simples, rápido e eficiente para determinar a necessidade de pavimentação das pistas de pousos e decolagens para os pesados aviões militares americanos. Desta maneira, o USACE retomou os estudos de O.J. Porter obtendo seus primeiros resultados em 1942. No período pós-guerra, utilizando-se da experiência obtida anteriormente, o USACE apresenta a primeira equação que relaciona a espessura necessária das camadas de pavimentação em função do CBR do solo de fundação (subleito), a carga da roda e a pressão de contato (pressão da roda equivalente) (AHLVIN, 1991).

A equação apresentada pelo USACE dimensiona uma espessura do pavimento capaz de proteger a camada subjacente de rupturas plásticas por cisalhamento, correlacionando esta espessura necessária com determinada carga de eixo. Este é, em linhas gerais, o princípio utilizado nos métodos de dimensionamento baseados no ensaio do CBR (BALBO, 2007).

A variação do método apresentada pelo Prof. Murilo Lopes de Souza na década de 60, com sua última edição em 1981, simula os efeitos de repetições de carga de um eixo-padrão de 80kN e é consolidada na Equação (1):

$$H_m = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (1)$$

Onde:

H_m = espessura total de pavimento necessária para proteger um material com $CBR=m$;

N = Número de repetições do eixo padrão (N);

CBR = Índice de Suporte Califórnia do material em que a estrutura está apoiada.

Apesar de ser um método amplamente testado, a sua base experimental refere-se às condições climáticas e de solo dos EUA. Segundo o DNIT (BRASIL, 2005), entretanto, o método tem mostrado resultado nas condições brasileiras, haja vista a rara ocorrência de afundamentos em trilha de rodas significativos em pavimentos dimensionados utilizando o método. Ressalta-se, também, que o mesmo não leva em consideração aspectos relacionados à fadiga de misturas asfálticas e de bases cimentadas.

2.5 PAVIMENTO FLEXÍVEL COM REVESTIMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO (PPC)

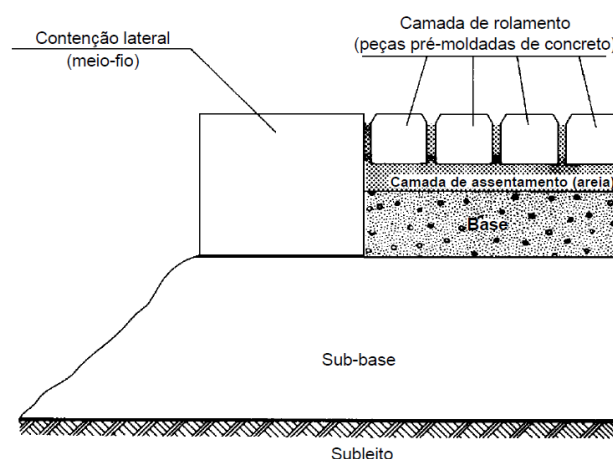
A pavimentação com peças pré-moldadas de concreto é uma evolução dos antigos calçamentos, efetuados com blocos de cantaria (paralelepípedos), onde nota-se o seu aprimoramento através da industrialização no processo de fabricação dos blocos. Trata-se de um revestimento flexível, aonde as formas do bloco e o seu grau de intertravamento irão produzir boa transferência de carga entre o que estiver sendo carregado e os adjacentes, aliviando as tensões transmitidas ao subleito e às camadas do pavimento (SÃO PAULO, 2004).

Shackel (1990) relata que a pavimentação de peças segmentadas vem sendo aplicada pelo homem desde a Idade Média. A natureza das peças variava em função da oferta de materiais locais bem como ao desenvolvimento das técnicas de execução. A primeira peça pré-moldada de concreto foi fabricada no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da Primeira Guerra Mundial. A solução ganhou espaço porque fornecia melhor uniformidade que as peças aparelhadas e não necessitava de reaparelhamento antes do assentamento, como acontecia com as suas concorrentes pedras naturais (CRUZ, 2003).

Para Cruz (2003), desde a década de 1980, a disponibilidade de equipamentos que aumentam a produtividade e a precisão dimensional fizeram com que a indústria de PPC crescesse e possibilitasse a oferta de um material econômico e estruturalmente satisfatório, capaz de suportar as cargas impostas pelo tráfego, protegendo a camada de base do desgaste por abrasão.

A Figura 18 representa a seção típica de um PPC.

Figura 18 - Seção da estrutura de um pavimento de PPC



Fonte: ABCP, (1998).

2.5.1. A camada de rolamento

Pra Cruz (2003), a camada de rolamento, formada pelas PPC estabelece as condições de conforto de utilização, durabilidade e contribui na função estrutural devido à elevada rigidez do concreto e do sistema de intertravamento das peças, causado pelo atrito provocado entre as faces laterais do bloco em conjunto com a areia de preenchimento. Segundo Hallack (1998) esta camada irá distribuir os esforços às camadas subjacentes e esta capacidade de distribuição dependerá da espessura, do formato e do arranjo dos blocos. A resistência à compressão individual das peças possui pouca influência neste aspecto, apesar de a maioria das normas indicarem um valor mínimo para a mesma.

Para Hallack (2000) o intertravamento das PPC é a capacidade que elas possuem de adquirir resistência aos movimentos de deslocamentos individuais nas direções vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças vizinhas (Figura 19).

Figura 19 - Tipos de deslocamentos individuais das PPC

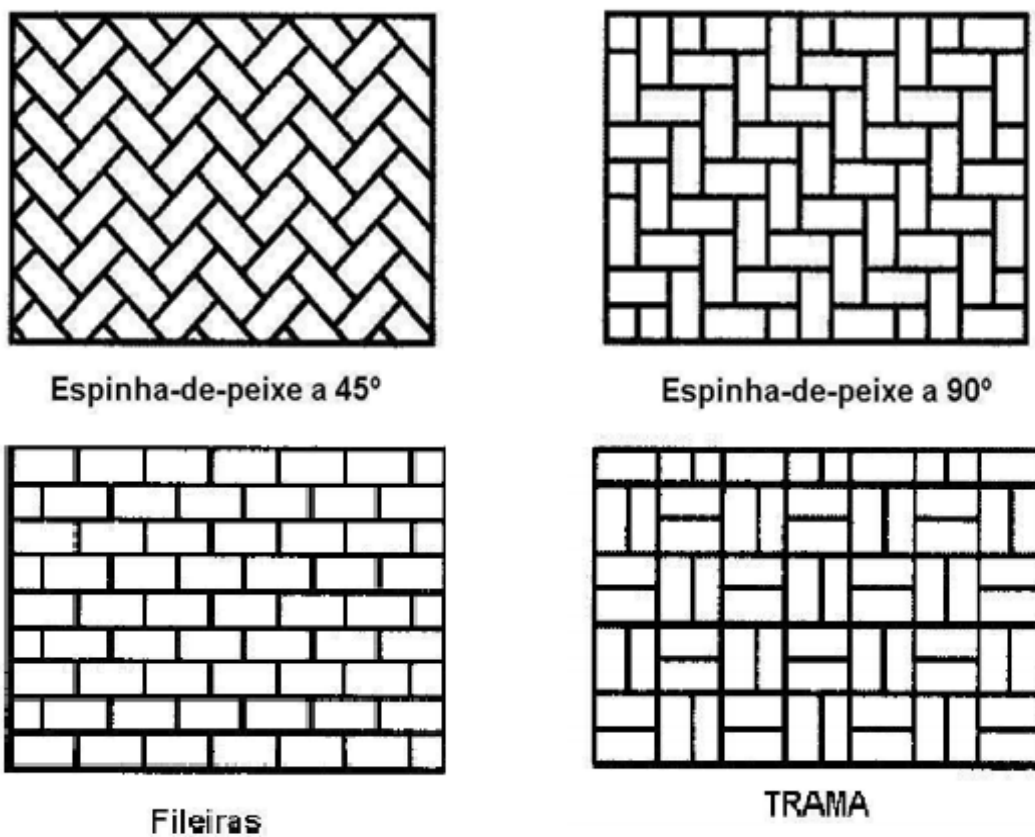


Fonte: ABCP (2010).

O intertravamento das PPC dá-se pelo enchimento de areia nas juntas, tornando a retirada de peças individuais um processo difícil, sendo necessária a quebra de algumas peças para que as outras sejam facilmente retiradas (ABCP, 1999). Isso demonstra a força que o intertravamento confere ao revestimento, tornando-o semelhante à uma camada de revestimento asfáltico.

O tipo de arranjo de assentamento escolhido afetará não apenas a aparência estética do pavimento como também a sua durabilidade (CRUZ, 2003). No boletim técnico nº 4 do *Interlocking Concrete Paving Institute* (ICPI, 2002) recomenda-se que em áreas de tráfego veicular se utiliza-se o tipo espinha-de-peixe porque este apresenta um maior nível de intertravamento entre as PPC. Alguns tipos de arranjos são mostrados na Figura 20.

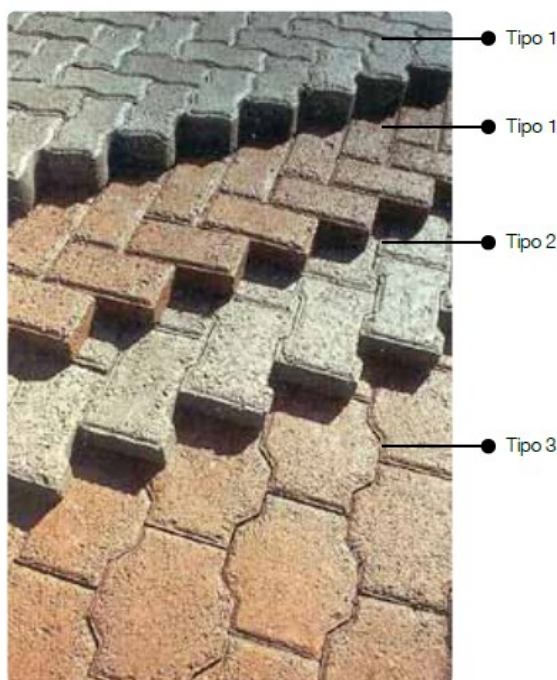
Figura 20 - Tipos de Arranjo das PPC



Fonte: Cruz (2003).

Os formatos das PPC usualmente utilizados em obras no Brasil são semelhantes aos das Figuras 21 e 22. Não há consenso entre os autores sobre a influência do formato das peças no desempenho dos pavimentos. Schackel (1990) afirma que peças segmentadas proporcionam melhor distribuição de esforços devido ao melhor intertravamento entre elas, ABCP (1999) aponta que o formato da peça não influencia no desempenho ou no mecanismo funcional dos pavimentos.

Figura 21 - Tipos de blocos



Fonte: ABCP (2010) – Manual de Pavimento Intertravado.

- Tipo 1: Formas retangulares. Dimensão usual: 10x20cm. Faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas (Figura 22);

Figura 22 - Blocos do Tipo 1

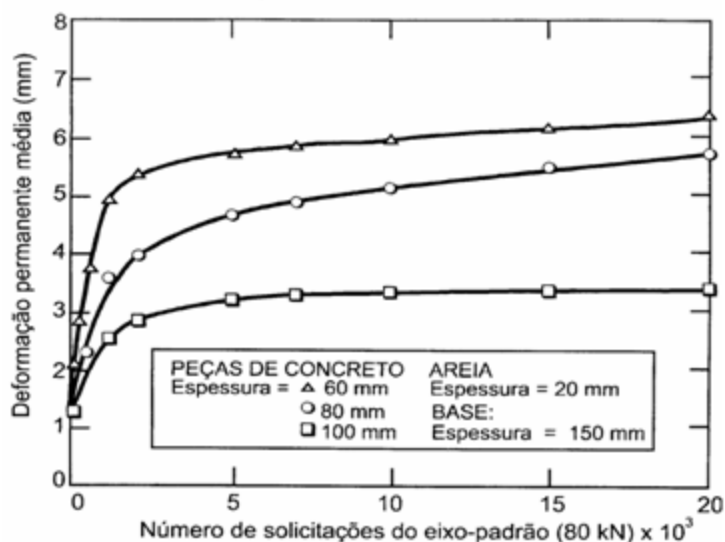


Fonte: ABCP (2010) – Manual de Pavimento Intertravado.

- Tipo 2: Apresenta o formato 'T'. Dimensão usual: 10x20cm
- Tipo 3: Bloco que não pode ser apanhado com uma só mão devido ao seu peso e tamanho. Dimensão usual: 20x20cm

A espessura da PPC, por sua vez, traz uma influência ao desempenho do pavimento. A Figura 23 representa ensaios efetuados com o Simulador de Veículos Pesados, na África do Sul, que indicam que as deformações permanentes no pavimento são menores para peças com uma espessura maior, comparando-se os mesmos níveis de solicitação (SCHACKEL, 1990).

Figura 23- Efeito da espessura das PPC no desempenho do pavimento sob solicitações do tráfego



Fonte: Shackel (1990).

A resistência individual das peças pré-moldadas de concreto utilizadas no Brasil é dividida em duas classes, uma com 35MPa e outra com 50MPa. A primeira é indicada para tráfego leve, médio e pesada, enquanto os blocos de 50MPa são indicados para pátios industriais e portos, situações onde o revestimento sofre intensos carregamentos e desgaste por atrito (ABNT, 1987).

2.5.2. Areia de Assentamento

Para Beaty (1996) a camada de assentamento de areia, também chamada de colchão de areia, é responsável por fornecer regularidade final ao pavimento, acomodando as possíveis variações dimensionais de alturas das PPC e a irregularidade da camada de base. A forma dos grãos de areia utilizados nesta camada influencia o comportamento do pavimento, sendo que partículas angulares possuem maior coeficiente de atrito, distribuindo melhor os esforços e diminuindo as deformações do pavimento.

Segundo Cruz (2003), ocorre em todo tipo de pavimento PPC uma acomodação inicial do colchão de areia no início de sua utilização. Após esta consolidação, a capacidade estrutural da camada de revestimento será função da espessura das PPC bem como da espessura do colchão de areia.

2.5.3. Outros elementos e camadas da estrutura

O meio-fio é indispensável ao bom comportamento deste revestimento, pois confinará as peças e eliminará possíveis deslocamentos horizontais, garantindo seu intertravamento, que é a condição primordial para o bom funcionamento do sistema (ABCP, 1999).

Por sua vez, a camada de base é o componente estrutural que recebe as tensões distribuídas pela camada de revestimento e visa proteger estruturalmente o subleito, evitando deformações permanentes no mesmo (CRUZ, 2003). Para Schackel (1991), sua necessidade pode ser dispensada dependendo da magnitude das cargas geradas pelo tráfego e das características do subleito.

Para a Prefeitura Municipal de São Paulo (São Paulo, 2004), os pavimentos de PPC deverão ser utilizados, preferencialmente, em vias com baixo volume de tráfego.

2.5.4. As Vantagens

A pavimentação com peças de concreto pode ser vista como uma solução alternativa entre os pavimentos flexível e rígido, quando a aplicação destes se torna inviável, seja por motivos técnicos, seja por motivos econômicos, em vias urbanas, pátios de estacionamento e manobra para quase todos os tipos de veículos, vias internas de fábricas, colégios, hospitais (ABCP 1999, p.2).

Dentre as vantagens mais destacadas pelas normas e autores (ABCP (1999), São Paulo (2004) e Cruz (2003)) pode-se destacar:

- Baixo custo e facilidade de manutenção – cerca de 95% das peças podem ser reaproveitadas em caso de necessidade de remoção de determinada área pavimentada. Após a retirada dos primeiros blocos, a remoção dos restantes torna-se fácil e rápida;
- A facilidade de construção possibilita a utilização de mão-de-obra não especializada e de fácil obtenção no local. Isso torna o processo mais econômico, especialmente em países industrializados;
- Pode-se abrir o pavimento ao tráfego imediatamente após o término da construção, sem o inconveniente de períodos de cura inerentes a outros tipos de solução.

2.5.5. Método de Dimensionamento de pavimento flexível de PPC

Segundo Cruz (2003), realizando uma análise global das tendências dos métodos de dimensionamentos disponibilizados por órgãos oficiais de governo, encontram-se algumas considerações em comum realizadas para a elaboração destes métodos, tais como:

- Tratar o pavimento intertravado como um pavimento flexível, adaptando as equações originalmente desenvolvidas para cálculo de tensões em pavimentos asfálticos;
- Admite-se que as juntas funcionam como descontinuidade para as tensões de tração, não transmitindo esforços desta natureza entre as peças. A pequena dimensão das mesmas em relação à área de contato das cargas não leva ao desenvolvimento de flexão na própria peça. Logo, são desconsideradas as tensões de tração na camada e a analogia com uma camada de pavimento asfáltico é válida somente para a modelagem numérica da distribuição de tensões considerando as camadas da estrutura como um todo;
- A espessura e forma das PPC são fixas em muitos métodos;
- As bases estabilizadas com cimento são as mais recomendadas, visto que conferem ótima resistência mecânica e impermeabilização à camada;

O método de dimensionamento da espessura das camadas do pavimento de PPC preconizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), descrito no Estudo Técnico nº27 de 1999, utiliza-se basicamente de dois gráficos de leitura direta que fornecem a espessura necessária das camadas do pavimento para atender aos requisitos de projeto. A espessura é determinada de acordo com o número de solicitações diárias de um eixo padrão de 8,2 tf e do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito.

2.6 CUSTOS

Para Jungles e Ávila (2006) o orçamento de uma obra pode ser definido como a previsão do valor da mesma, com o intuito de permitir que a organização responsável pela sua execução promova o investimento próprio, se habilite-se para um processo licitatório, analise a competitividade do seu produto ou avalie seu desempenho. Pode-se atribuir uma série de terminologias para defini-lo, dependendo do grau de detalhamento. Segundo alguns autores como Sampaio (1989) e Mattos (2006), é possível classificá-lo em:

a) Estimativa de custos

A estimativa de custos é uma forma expedita de realizar um orçamento com base em custos históricos e comparação com projetos similares. Um exemplo é a utilização de indicadores genéricos, como o CUB – Custo Unitário Básico – utilizado na construção civil,

que representa o custo de projetos com padrões diferentes por metro quadrado construído. Por tratar-se de uma forma expedita, seu grau de precisão é muito baixo.

b) Orçamento Preliminar

O orçamento preliminar possui um grau de detalhamento superior à estimativa de custos e é realizado através do levantamento e estimativa de quantidades de materiais e de serviços juntamente com uma pesquisa de preços médios.

c) Orçamento Analítico

Constitui uma maneira mais detalhada e precisa de se prever os custos envolvidos no empreendimento e é efetuado a partir do levantamento de materiais e serviços a partir de projetos detalhados bem como da pesquisa de preços médios. Geralmente são considerados, também, os custos indiretos da obra que, segundo Tisaka (2006), são todos os custos que não estão diretamente associados aos serviços de campo, mas são necessários para a execução dos mesmos. Um exemplo de custo indireto é a administração da obra.

Além da previsão dos custos necessários para a execução da obra, a obtenção do preço final estimado da mesma só estará completa após a aplicação sobre custo direto total da obra (custos dos serviços e materiais necessários à execução da mesma) da taxa de Benefício e Despesas Indiretas (BDI). Essa taxa contempla o lucro da empresa construtora e seus custos indiretos, como administração central, tributos, risco, garantias, seguro e despesas financeiras (TCU, 2013).

É de extrema importância ter a consciência de que o orçamento não traduzirá com exatidão os custos reais praticados no empreendimento. Isso ocorre devido à impossibilidade de calcular o custo de um empreendimento somente a partir de serviços constantes em um projeto de engenharia, visto que no projeto são levantadas apenas as quantidades mínimas de serviços e materiais necessárias para a execução do mesmo. Além disso, inúmeros aspectos como a flutuação dos preços dos insumos de mão-de-obra, incompatibilidade de projetos gerando necessidade de retrabalho, inflação e fatores imprevisíveis como os climáticos e condições de solo geram a impossibilidade de antever o verdadeiro custo da obra.

Entretanto, é possível chegar à margens de erro muito pequenas e esta precisão está condicionada ao nível de detalhamento disponível no projeto bem como à experiência do orçamentista. Para Lopes; Librelotto; Avila (2003) estimativas realizadas em etapas de anteprojeto atingem margens de erro entre 15 e 20%, uma vez que não se dispõe de todas as

informações de projeto, mas pode chegar a margens de erro da ordem de 1 a 5% para orçamentos que possuem todos os dados necessários para a execução da obra.

Por fim, para orçar obras públicas (maioria dos casos das obras de pavimentação), deve-se seguir as diretrizes do Tribunal de Contas da União (TCU) quanto à pesquisa de preços médios, composição dos serviços e cálculo do BDI. As composições e preços médios devem ser obtidos em sistemas de referência de preços ou em publicações técnicas e o BDI deve ser calculado seguindo o Acórdão nº 325/2007.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para atingir os objetivos propostos. Os materiais referem-se ao à via de projeto enquanto os métodos são aqueles utilizados para dimensionar as espessuras de cada camada do pavimento das alternativas propostas.

3.1 ENQUADRAMENTO

No âmbito deste trabalho, os conceitos descritos anteriormente foram utilizados para a escolha da melhor solução de pavimentação para um trecho hipotético, utilizando como referência características físicas de ruas da cidade de Armazém, localizada no sul do estado de Santa Catarina (Figura 24). A cidade possui uma população de 7.730 habitantes (CENSO IBGE/2010).

Figura 24 - Localização do trecho hipotético

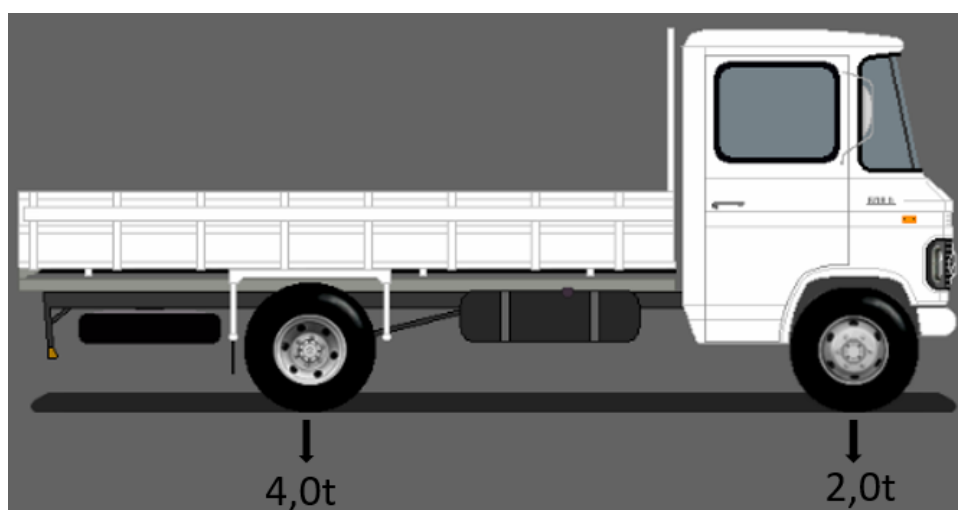


Fonte: Adaptado de Abreu (2006).

Os dados de tráfego e de suporte do subleito utilizados neste trabalho foram obtidos através de projeto de engenharia submetido à análise no Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE). Os dados são característicos das vias deste município e foram utilizados para a caracterização do trecho hipotético.

Optou-se por utilizar dados reais de tráfego e suporte do subleito neste trabalho para que a representação idealizada no trecho hipotético fique mais próxima da realidade de projeto encontrada por profissionais em regiões com características semelhantes. Isso ocorreu também para que o crescimento estimado da frota pudesse ser embasado em dados reais. O Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR – *California Bearing Ratio*) do subleito é 15% e o tráfego médio diário são 20 passagens diárias do veículo tipo 2C-LEVE, que possui 2 eixos: o dianteiro com 2,0 toneladas e o traseiro com 4,0 toneladas (Figura 25). O veículo tipo 2C-LEVE é representativo de caminhões utilizados para coleta e entrega em centros urbanos.

Figura 25 - Carga Legal veículo padrão

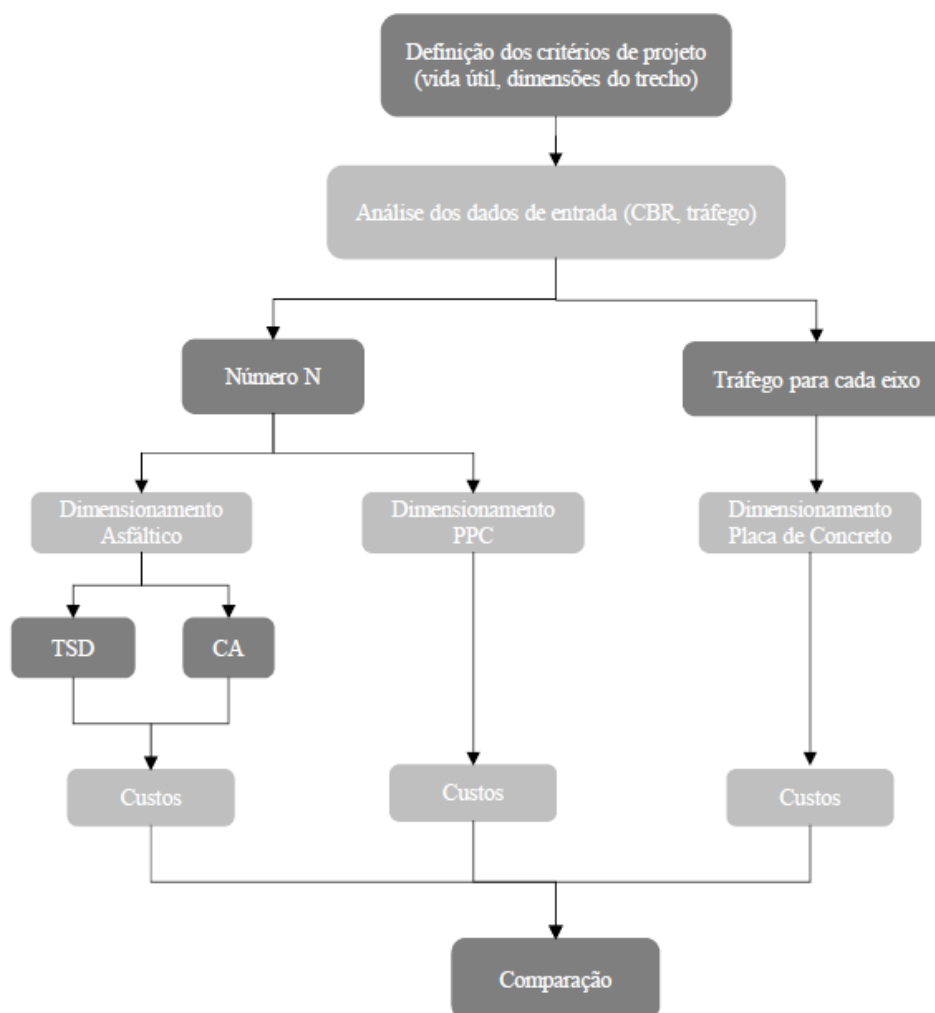


Fonte: Adaptado de Olivera e Bruning (2014)

As dimensões do trecho hipotético escolhidas para fim de estimativa dos custos envolvidos em cada solução proposta são: 1 quilômetro de comprimento por 6 metros de largura, desconsiderando interseções da via e considerando que haverá encontro nas duas extremidades (inicial e final) com outras vias pavimentadas em leito natural.

O fluxograma do trabalho desenvolvido é ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Fluxograma de Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente foi criado um trecho hipotético, atribuindo dimensões e características físicas ao mesmo, para que fosse possível estimar os custos envolvidos na execução das soluções propostas. Os dados existentes de tráfego e capacidade de suporte do subleito foram, então, adicionados ao trabalho, possibilitando a caracterização do trecho hipotético. O próximo passo é a análise do tráfego, que será utilizada para o dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento de cada alternativa proposta. Após o dimensionamento das espessuras, será realizado um orçamento preliminar de cada solução e as mesmas serão comparadas técnica e economicamente, realizando-se a escolha da melhor alternativa de pavimentação para as condições de projeto criadas.

3.2 TRÁFEGO

3.2.1 Tráfego – Cálculo do Número N

O primeiro passo para o cálculo do número N é a tabulação das categorias de veículos encontrados na contagem ou estimativa de tráfego. Calcula-se então a porcentagem dos veículos em relação ao número total de veículos da amostra. No caso deste trabalho, esse passo é desnecessário visto que o estudo de tráfego aponta a consideração de apenas um veículo para o projeto, o 2C-LEVE.

Deve-se, então, calcular o fator de equivalência de carga (FC) de cada categoria de eixo através das equações propostas pela USACE, apresentadas no Quadro 4. Esses fatores transformarão cada categoria de eixo no eixo equivalente de 8,2 toneladas força.

Quadro 4 - Fatores de Equivalência de Carga

Tipo de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0-8	$FC=2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC=1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$

P= peso bruto total sobre o eixo

Fonte: Brasil, 2006a.

Os fatores “P” utilizados para o cálculo do FC serão aqueles que representam a carga de cada eixo do veículo 2C-LEVE.

O próximo passo é o cálculo do fator de veículo (FV), que será realizado através da soma dos fatores de equivalência de carga de cada categoria de veículo e multiplicado por sua porcentagem em relação ao total de veículos da amostra. No caso do presente trabalho, soma-se o FC do eixo dianteiro de duas toneladas com o FC do eixo traseiro de 4 toneladas, obtendo-se, assim, o fator de veículo.

Após a definição do FV, será calculado o número N para cada ano, através da Equação (2).

$$N_{ano} = 365 \times VDM \times (FV) \quad (2)$$

Onde:

N_{ano} = Número N do ano;

VDM = Volume Médio Diário;

FV = Fator de veículo.

O número N dos próximos anos será calculado através da aplicação da taxa de crescimento anual no número N do ano anterior, no decorrer do período de projeto, definido como 10 anos.

A taxa de crescimento da frota adotada é de 7% ao ano. O valor foi encontrado através de uma relação realizada com dados do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), que apontam que a evolução da frota de veículos comerciais leves de 2010 a 2015 foi de 6,61% (Sindipeças, 2016). Foram apurados, também, dados de crescimento populacional, por acreditar que estes poderiam trazer mudanças nas taxas de crescimento da frota de veículos comerciais leves no local de projeto. No entanto, como o crescimento previsto da população da cidade de Armazém/SC realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), entre 2010 e 2016, é próximo ao crescimento da população brasileira no mesmo período (1,42% ao ano em Armazém contra 1,32% ao ano no Brasil) considerou-se diretamente o crescimento da frota de veículos comerciais leves no Brasil de 2010 a 2015 como representativo do crescimento da mesma nos próximos 10 a 20 anos no local de projeto.

O número N será para um período de projeto de 10 anos, considerando o volume diário médio de 20 passagens diárias do veículo 2C-LEVE no ano base. Ou seja, o ano de abertura ao tráfego é o ano 1, já considerando a aplicação da taxa de crescimento para o mesmo.

A escolha do período de projeto de 10 anos para o número N deve-se ao fato de que os dimensionamentos de pavimentos flexíveis serão realizados considerando essa vida útil à estrutura.

Por fim, o número N para o período de projeto de 10 anos será a soma dos Números N de cada ano.

3.2.2 Cargas do tráfego para pavimentos rígidos

Para este caso, tabulam-se os dados de tráfego no ano 0 e aplica-se a taxa de crescimento correspondente à cada categoria para o período P em anos de projeto, que no caso dos pavimentos rígidos são 20 anos. Ao final, soma-se os valores de passagem de cada categoria em um sentido da via.

3.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO – PCA 1984

O dimensionamento da estrutura de pavimento rígido de concreto inicia pela definição da espessura da camada de sub-base. Segundo o DNIT (BRASIL, 2005) a espessura da mesma dependerá do tráfego previsto, variando entre 15 centímetros e 40 centímetros e em caso de cargas configurando tráfego de pequeno porte, o valor mínimo pode ser de 10 centímetros. Ou seja, cabe ao projetista a decisão de adoção ou não de sub-base bem como da sua espessura.

O dimensionamento da espessura da placa de concreto é realizado com o auxílio da planilha semelhante à do Quadro 5.

Quadro 5 - Planilha auxiliar para dimensionamento

Projeto	TCC		Juntas com BT	
Espessura		cm	Acostamento de Concreto	
ksist		Mpa/m	Período de Projeto	
fctM,k		Mpa	sub-base	
Fsc				

Carga Eixo (KN)	Carga x FS	Repet. Prev.	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Solic. Adm	Cons. da Fadiga	Solic. Adm	Cons. da erosão
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Eixos Simples						
Tensão Equivalente:		(8)	Fator de Fadiga:	(9)	Fator de erosão:	(10)
-	-	-	-	-	-	-
			DANO PARCIAL	-	DANO PARCIAL	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

O primeiro passo a ser realizado pelo projetista é a definição de alguns parâmetros de projeto que irão influenciar diretamente no comportamento da estrutura, bem como na espessura final da placa de concreto de cimento Portland, como descrito na revisão de literatura deste método. Os parâmetros a serem definidos são:

- Existência ou não de acostamento de concreto;
- Adoção ou não de barras de transferência;
- Resistência do concreto à tração na flexão aos 28 dias a ser utilizado na placa.

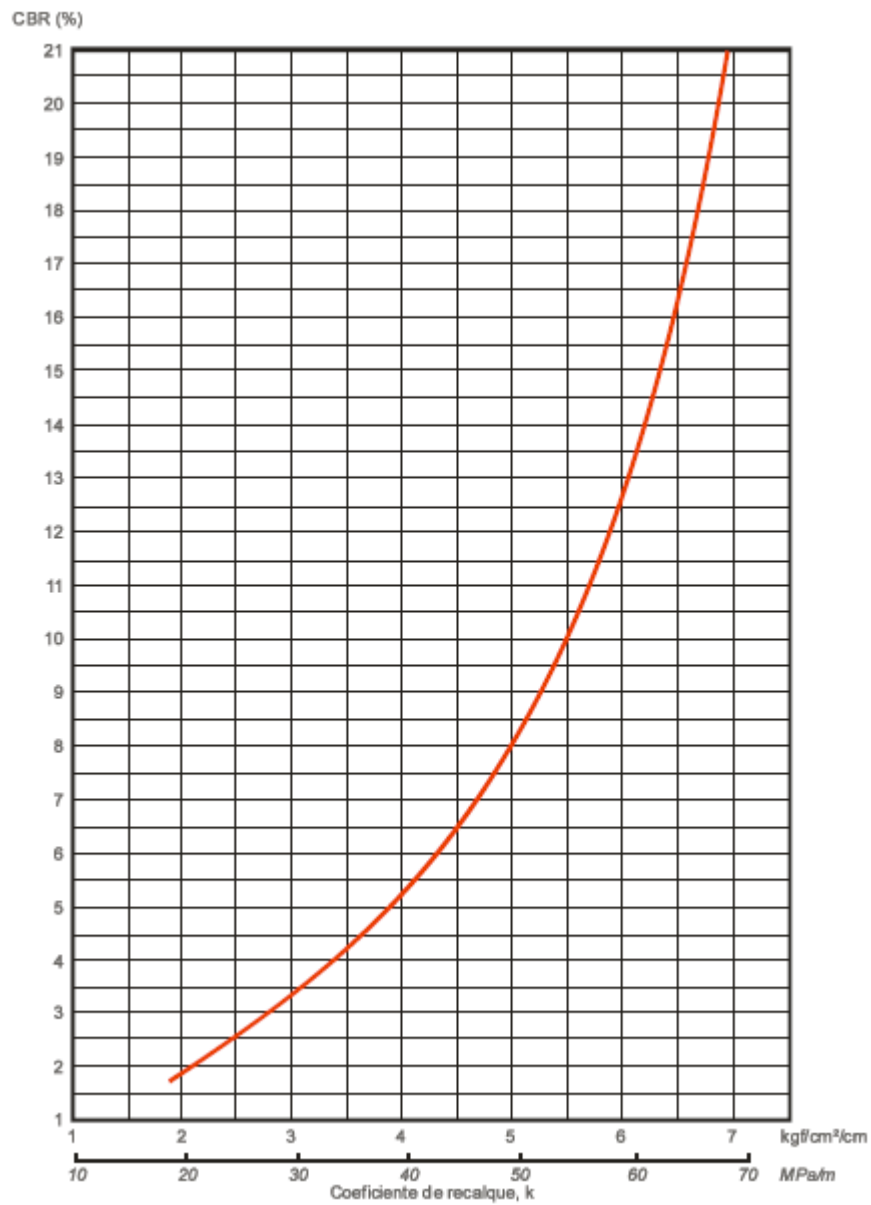
Com estes dados definidos, além dos valores de tráfego esperado para cada nível de carga e da adoção e espessura da sub-base, pode-se definir um fator de segurança (Quadro 6) e, através do gráfico da Figura 27, encontrar o coeficiente de recalque do subleito através da correlação com seu Índice de Suporte Califórnia (CBR). Para Oliveira (2000) este coeficiente representa a resposta estrutural do solo, ou do conjunto subleito-sub-base, representando a tensão necessária para produzir uma determinada deformação no terreno.

Quadro 6 - Quadro para a determinação de fator de segurança para as cargas

Tipo de Pavimento	FSC
Ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego	1,0
Estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
Altos volumes de caminhões	1,2
Pavimentos que necessitem desempenho acima do normal	até 1,5

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

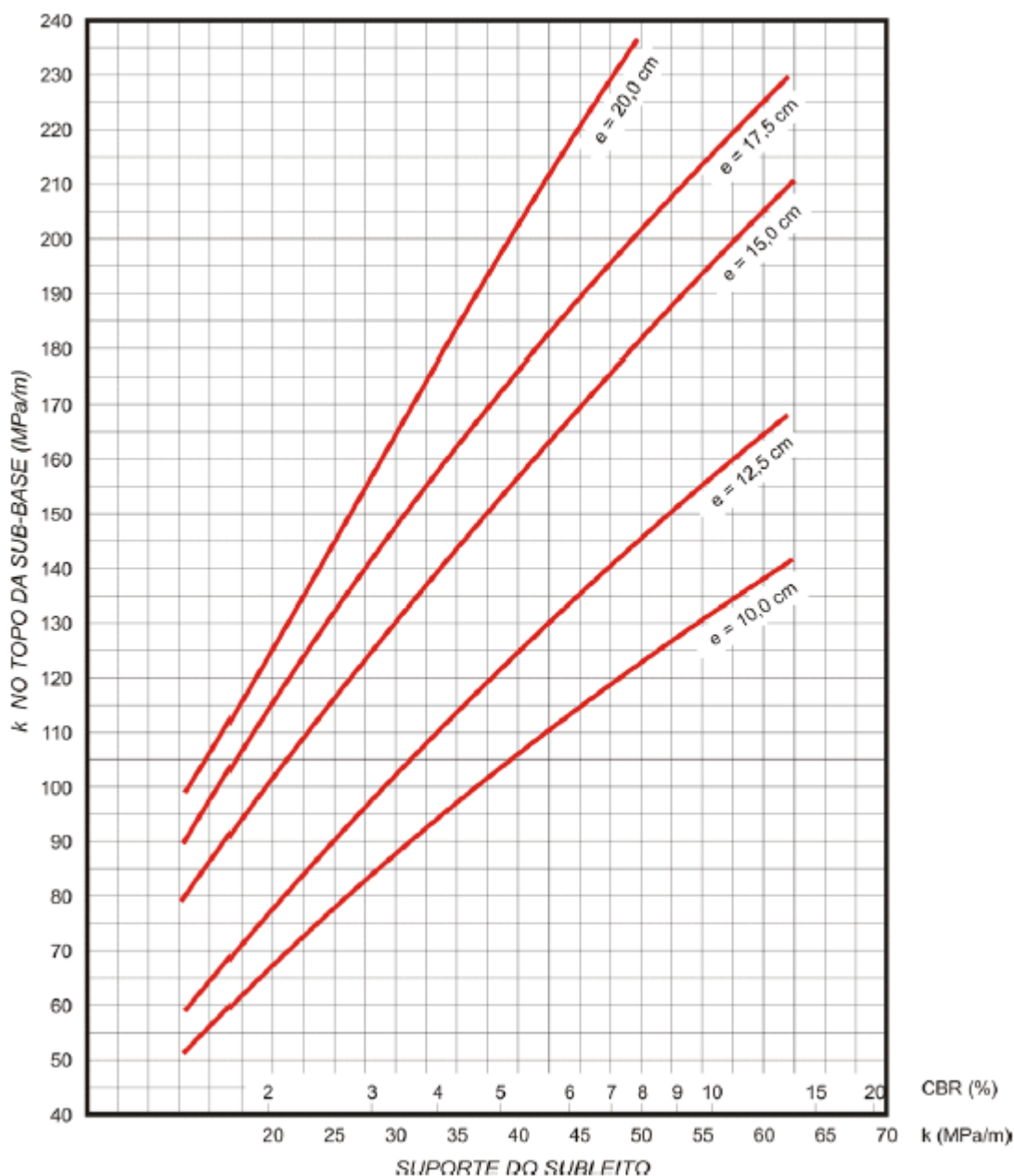
Figura 27 - Relação entre o CBR e o coeficiente de recalque (k) do subleito



Fonte: Brasil (2005).

No caso de adoção de sub-base, utilizam-se gráficos como o da Figura 28 para a determinação do aumento do coeficiente de recalque do subleito devido à adoção da mesma.

Figura 28 - Aumento de k devido à sub-base de solo-cimento



O próximo passo do método PCA 1984 é a adoção de uma espessura de placa de concreto. A partir disso, deve-se determinar a Tensão Equivalente através de um quadro como o da Figura 29, que fornece a mesma a partir dos dados de entrada: Espessura estimada da Placa (H) e coeficiente de recalque do sistema (k). O DNIT fornece quatro gráficos para a determinação da Tensão Equivalente que diferem entre si dependendo se o pavimento terá ou não acostamento e se a Tensão Equivalente a ser encontrada refere-se à eixos simples, tandem duplos ou tandem triplos.

Essa tensão é referente à distribuição do tráfego sobre a placa de concreto e foi proposta a partir de pesquisas de tráfego realizadas por Packard e Tayabji (1984) que indicaram que apenas 6% dos eixos estariam posicionados sobre a borda longitudinal da placa (situação mais desfavorável), gerando consumos de resistência à fadiga diferenciados em relação aos 94% restantes que estariam mais centralizados na placa. Essa ocorrência levou à conclusão de que as tensões tabuladas para cargas de borda a partir do método de elementos finitos deveriam ser multiplicadas por 0,89, para garantir um consumo de fadiga mais próximo à situação real de distribuição do tráfego sobre a placa de concreto.

Figura 29 - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa) em pavimentos sem acostamento de concreto

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Brasil (2005).

Transfere-se este valor ao campo 8 do formulário do Quadro 5. Determina-se os fatores de erosão através de quadros como o da Figura 30, de acordo com o tipo de junta considerada e o tipo de acostamento, a partir dos mesmos dados de entrada utilizados para determinação da Tensão Equivalente.

Figura 30 - Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas com barra de transferência e pavimetnos sem acostamento de concreto

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24

ES: Eixos Simples

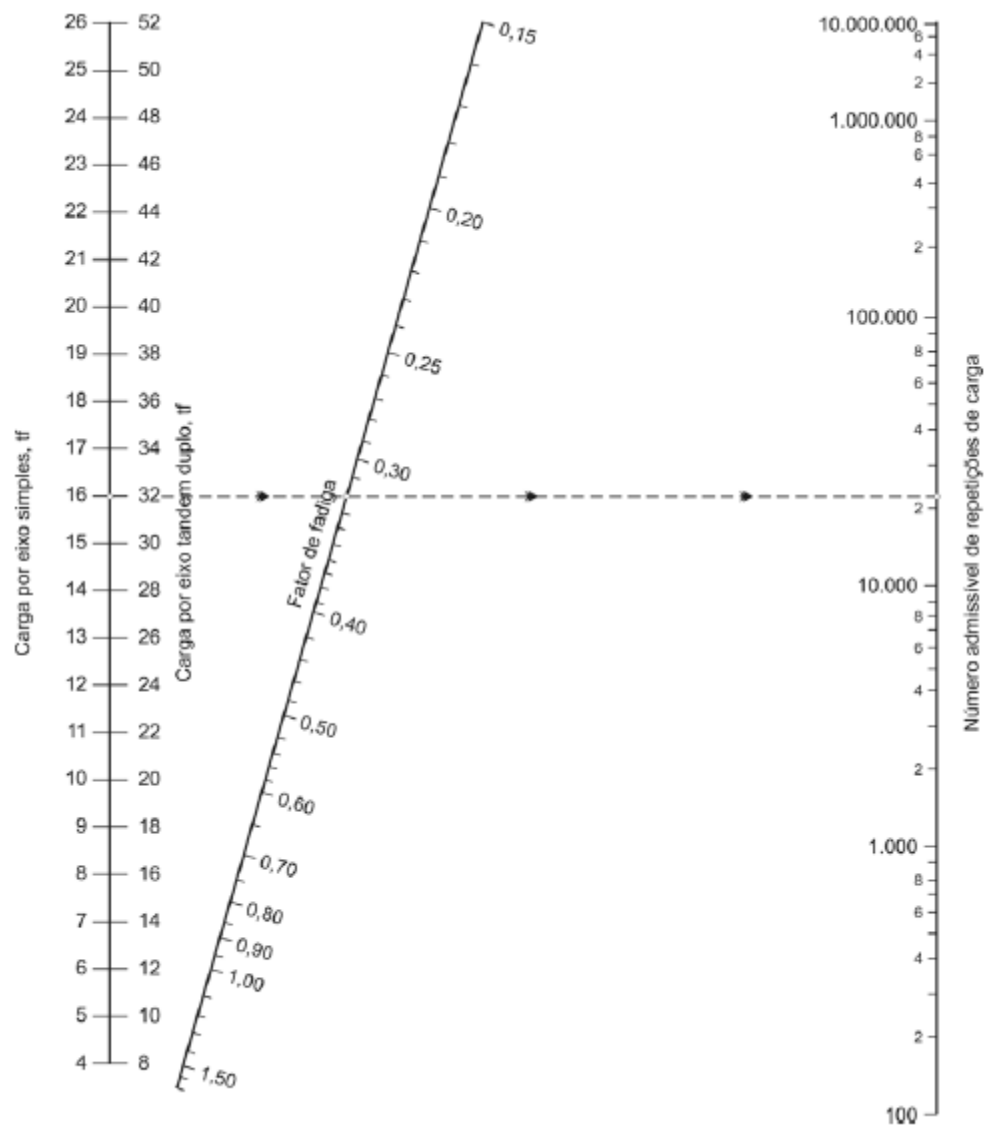
ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Brasil (2005).

Para calcular o Fator de Fadiga, divide-se a Tensão Equivalente pela resistência de tração do concreto de projeto.

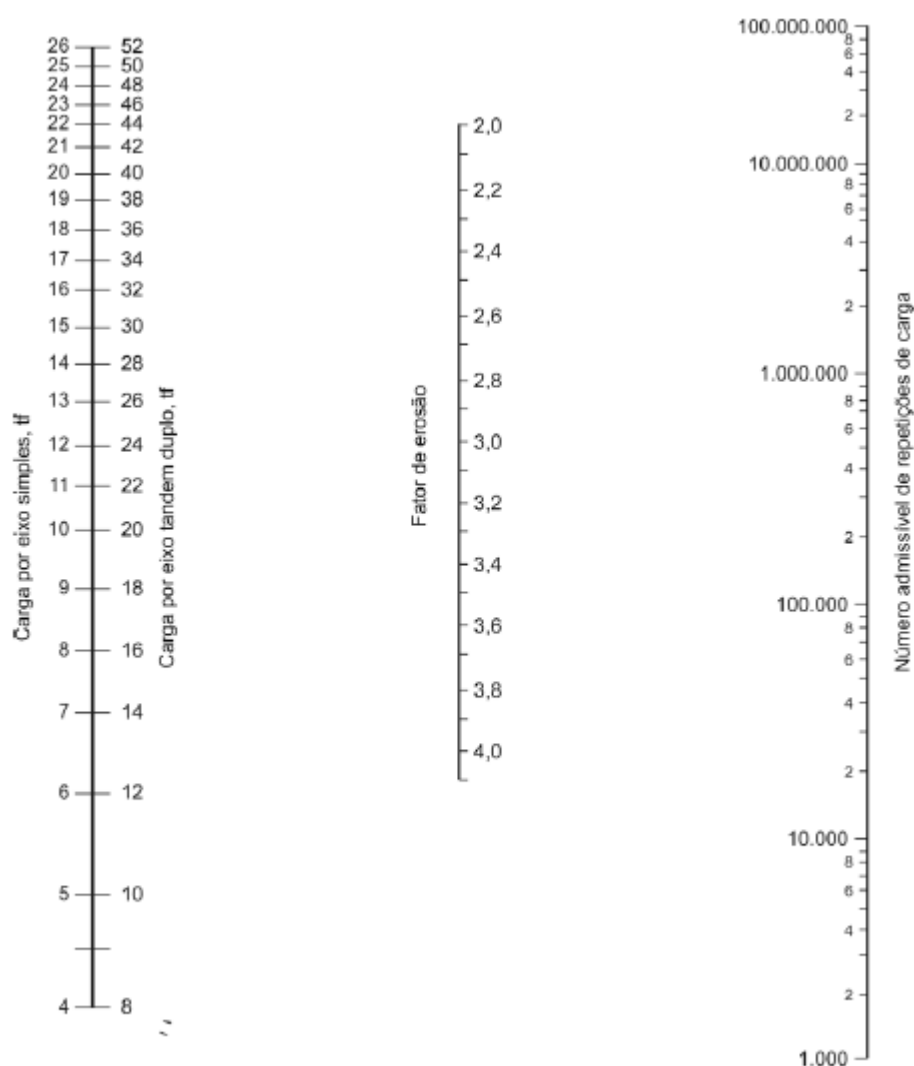
Os ábacos das Figuras 31 e 32 devem ser utilizados para o cálculo das Repetições Admissíveis, utilizando o Fator de Fadiga como valor de entrada para o primeiro ábaco e o Fator de Erosão para o segundo ábaco.

Figura 31 - Análise de Fadiga - Número de Repetições Admissíveis em função do fator de fadiga (pavimento com ou sem acostamento de concreto)



Fonte: Brasil (2005).

Figura 32 - Análise de Erosão - Número admissível de repetições de carga com base no Fator de Erosão (Pavimento sem acostamento de concreto)



Fonte: Brasil (2005).

Por fim, dividem-se as repetições calculadas para cada nível de carga pelas respectivas repetições admissíveis, determinadas na Análise de Fadiga e na Análise de Erosão e soma-se a coluna 5 (porcentagem de fadiga) e a coluna 7 (porcentagem de erosão). O resultado representará a resistência à fadiga consumida e o dano por erosão.

Interpreta-se o resultado da seguinte maneira:

- Se a soma das porcentagens das colunas 5 e 7 não ultrapassar os 100% (individualmente) implica que a espessura da placa de concreto cumpre os requisitos solicitados. Caso a porcentagem ultrapasse, a interpretação é de que a espessura tentada é insuficiente e, portanto, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior;

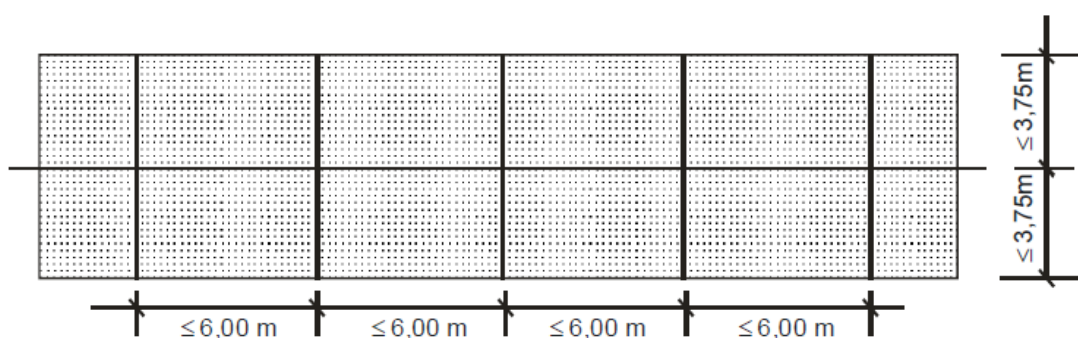
- Caso as porcentagens consumidas na Análise de Erosão e na Análise de Fadiga fiquem próximas de zero, as condições estão satisfeitas, mas a placa estará superdimensionada. Deve-se, portanto, repetir o cálculo com uma espessura menor de revestimento para que as mesmas fiquem mais próximas de 100%.

Após a definição da espessura da placa define-se o espaçamento das juntas transversais e longitudinais (que irão caracterizar o tamanho da mesma) e a escolha da bitola das barras de transferência.

Segundo Brasil (2006), uma distância máxima de 6 metros entre as juntas transversais é perfeitamente adequada às condições gerais no país. Quanto às juntas longitudinais, devido a quantificação de tensões ser problemática e imprecisa, busca-se obter a fixação de valores recomendados como admissíveis ou adequados, através da prática. A observação de algumas obras evidenciou o aparecimento de fissuras em placas com largura superior entre 3,75 metros e 4,90 metros. Portanto, a recomendação é uma distância de, no máximo, 3,75 metros.

A Figura 33 exemplifica as recomendações de Brasil (2005):

Figura 33 - Dimensões recomendadas para as placas de concreto



Fonte: Brasil (2005).

Para a escolha da bitola das barras de transferência, utiliza-se o Quadro 7:

Quadro 7 - Dimensões da barra de transferência

Espessura da Placa (cm)	Diâmetro (cm)	Comprimento (mm)	Espaçamento (mm)
Até 17,0	20	460	300
17,5-22,0	25	460	300
22,5-30,0	32	460	300
>30,0	40	460	300

Fonte: Brasil (2005).

3.4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL DE CA - DNER

O Método do DNER baseia-se no trabalho de engenheiros do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) e conclusões obtidas na Pista Experimental da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Este método visa proteger o subleito contra a geração de deformações plásticas excessivas durante o período de projeto.

Para o dimensionamento das espessuras das camadas constituintes da estrutura do pavimento, utiliza-se o Índice de Suporte Califórnia (CBR) como caracterização da capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes em outras camadas da estrutura. A caracterização das cargas atuantes dá-se através do número equivalente (N) de operações de um eixo padrão de 8,2 t, durante o período de projeto.

Utilizam-se, também, coeficientes de equivalência estrutural baseados em resultados obtidos na Pista Experimental da AASHTO (Quadro 8), que são relativos aos materiais constituintes das camadas do pavimento.

Quadro 8 - Coeficientes de Equivalência Estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm	1,70
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1,40
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28kg/cm e 21kg/cm	1,20

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

O método recomenda a adoção de espessura mínima na camada de revestimento (Quadro 9), visando a proteção da camada de base de esforços impostos pelo tráfego e a própria camada de revestimento da ruptura do mesmo por esforços repetidos de tração e flexão. DNIT (Brasil, 2006b) alerta, entretanto, que a fixação de espessura mínima é ainda um ponto em aberto na engenharia rodoviária.

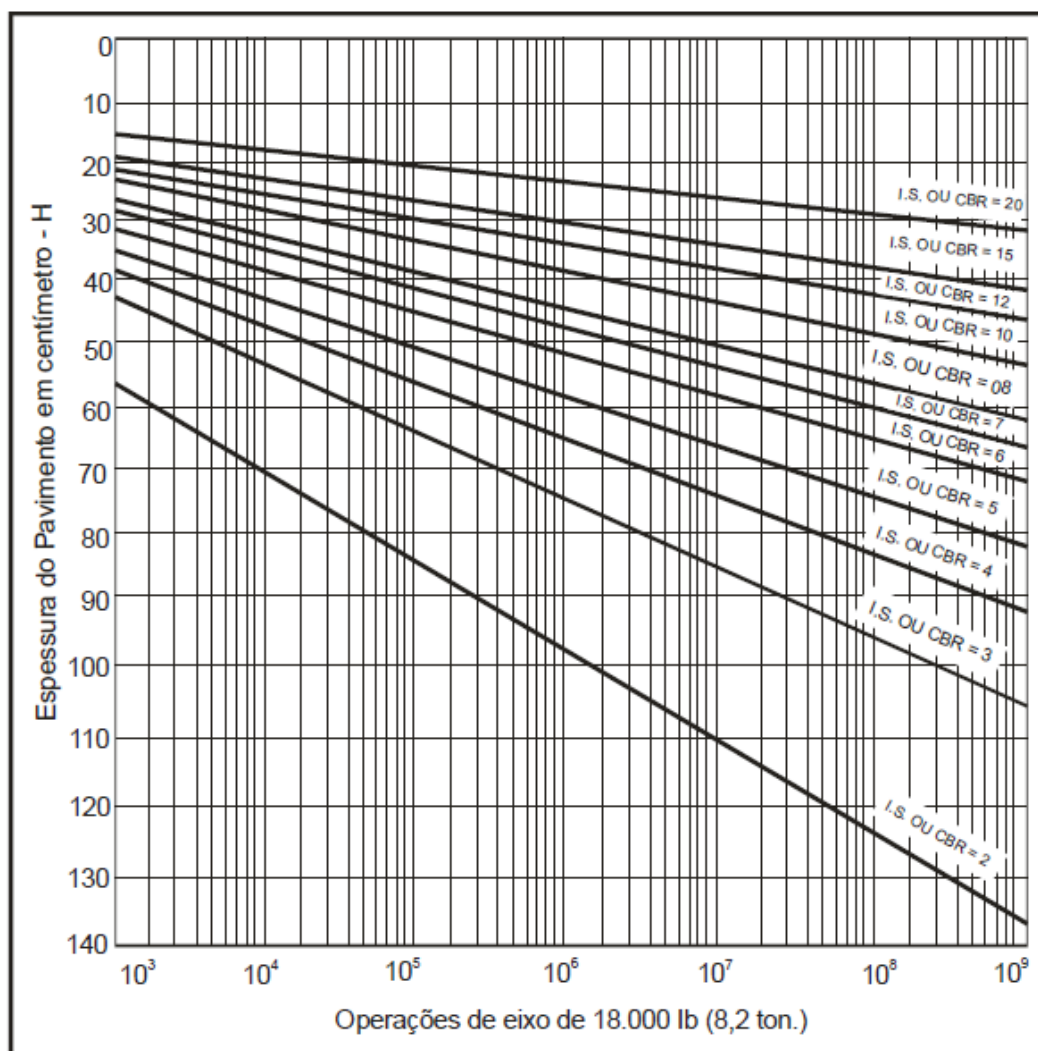
Quadro 9 - Espessura mínima de revestimento asfáltico indicada

N	Espessura Mínima de Revestimento Asfáltico
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos asfálticos com 5,0cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 10,0cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 12,5cm de espessura

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

Para a determinação das espessuras totais de cada camada do pavimento utiliza-se o ábaco da Figura 34 ou, alternativamente, a Equação (1), também citada no item 2.4.2. O gráfico e a equação fornecem a espessura em termos de material com coeficiente estrutural $K=1,00$, ou seja, em termos de base granular.

Figura 34 - Ábaco que fornece a espessura necessária de material com coeficiente estrutural $K=1,0$ que suportará determinado carregamento



Fonte: Brasil (2006b).

$$H_m = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (1)$$

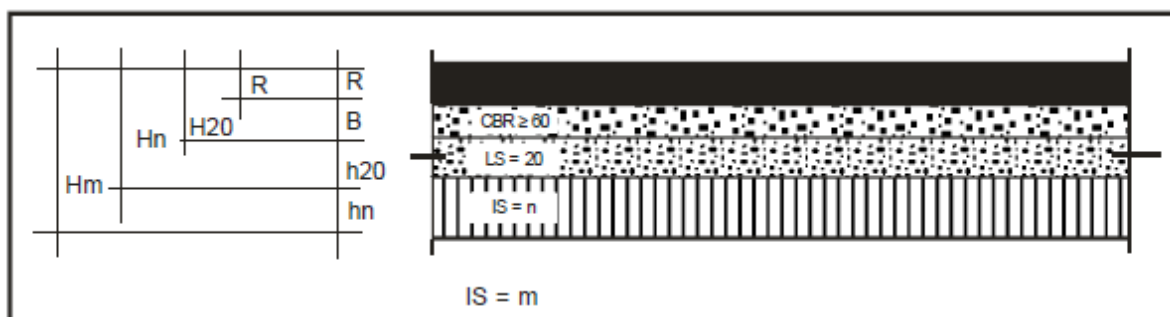
H_m = espessura total de pavimento necessária para proteger um material com $CBR=m$;

N = Número de repetições do eixo padrão (N);

CBR = Índice de Suporte Califórnia do material em que a estrutura está apoiada.

A Figura 35 apresenta a simbologia adotada no dimensionamento das camadas, onde:

Figura 35 - Simbologia adotada no dimensionamento das camadas



Fonte: Brasil (2006b).

H_m = espessura total de pavimento necessária para proteger um material com $CBR=m$;

H_n = Espessura de camada de pavimento necessária para proteger um material com $CBR=n$;

H_{20} =Espessura de camada de pavimento necessária para proteger um material com $CBR=20\%*$;

h_{20} = Espessura da sub-base;

h_n =Espessura da camada de reforço do subleito;

B = Espessura da camada de Base;

R = Espessura da camada de Revestimento;

*Mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20%, a espessura necessária da camada para protegê-la será considerando que seu CBR seja 20%.

Após determinar as espessuras necessárias das camadas (H_m , H_n , H_{20}), pelo gráfico da Figura 34 ou pela Equação 1, a determinação das espessuras das camadas será realizada pela resolução das Equações (3):

$$\begin{aligned} RK_R + BK_B &\geq H_{20} \\ RK_R + BK_B + h_{20}K_s &\geq H_n \\ RK_R + BK_B + h_{20}K_s + h_nK_{Ref} &\geq H_m \end{aligned} \quad (3)$$

Onde os coeficientes de equivalência estrutural são representados pelas incógnitas: K_R , K_B , K_S , K_{Ref} .

Notas:

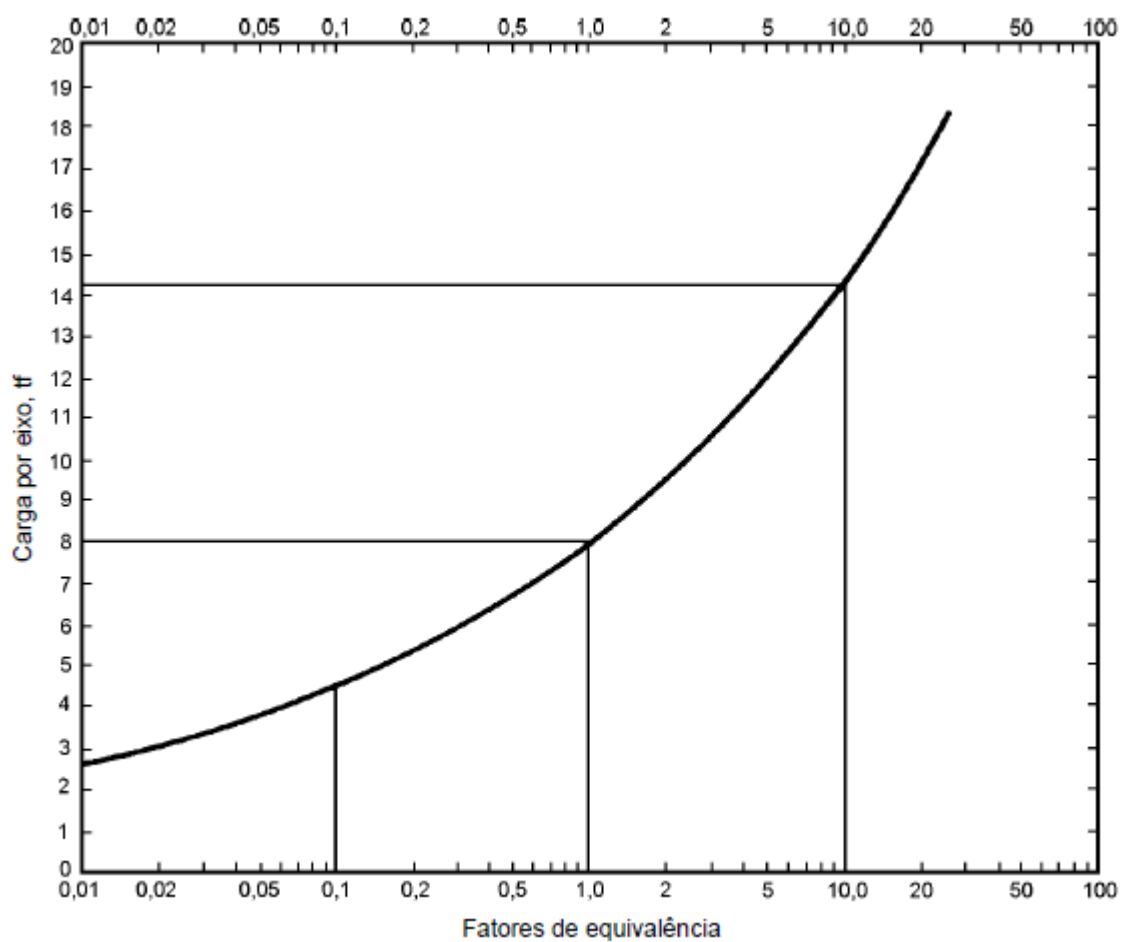
- Supõem-se que há, sempre, drenagem superficial adequada e que o lençol d'água subterrâneo esteja a, no mínimo, 1,50 metros do greide final de regularização;
- A espessura construtiva mínima de cada camada é de 15cm (exceto para a camada de revestimento);

3.5 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO – ET-27 ABCP

O método que dimensiona a espessura das camadas do pavimento é realizado de forma direta através de dois gráficos.

A ABCP disponibiliza, ainda, um gráfico (Figura 36) para a adoção de fatores de equivalência que transformam as cargas por eixo em cargas equivalentes a um eixo de 8,2 tf. O resultado é semelhante ao cálculo do número N de repetições indicado pelo DNIT.

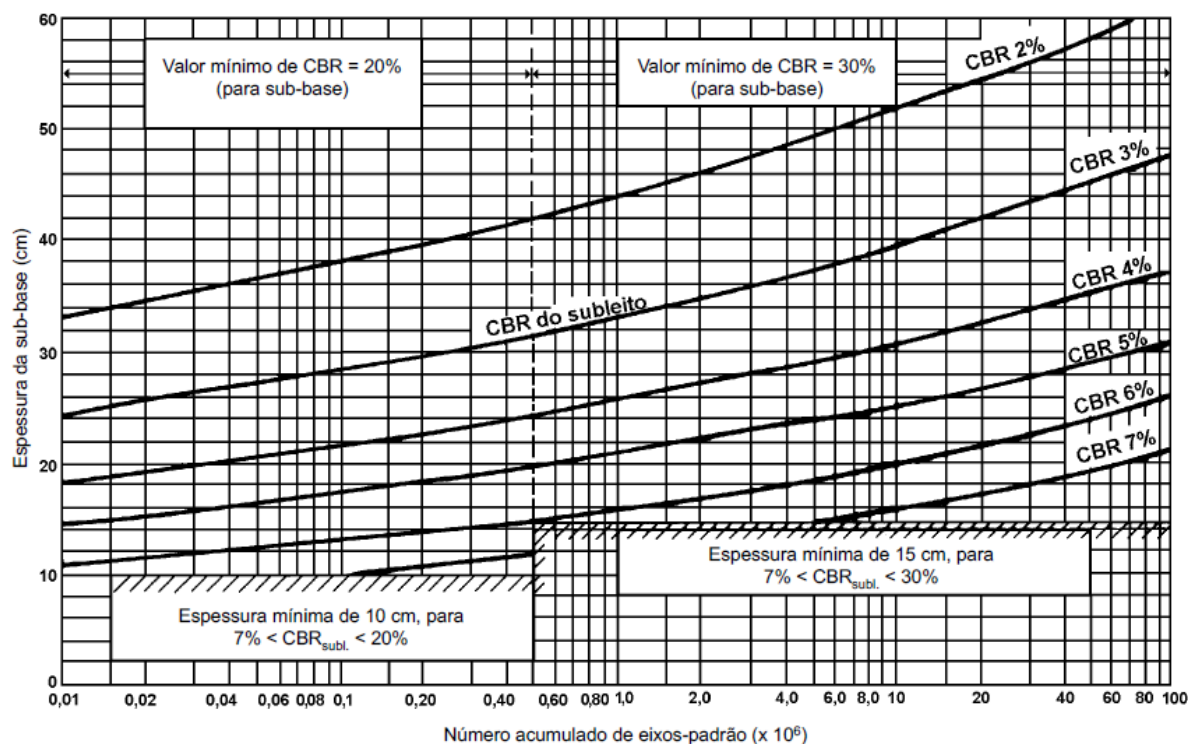
Figura 36 - Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples



Fonte: ABCP (1998).

O próximo gráfico (Figura 37) fornece a espessura necessária de sub-base em função do número de solicitações do eixo padrão (N) e do valor de CBR do subleito.

Figura 37 - Espessura necessária de sub-base



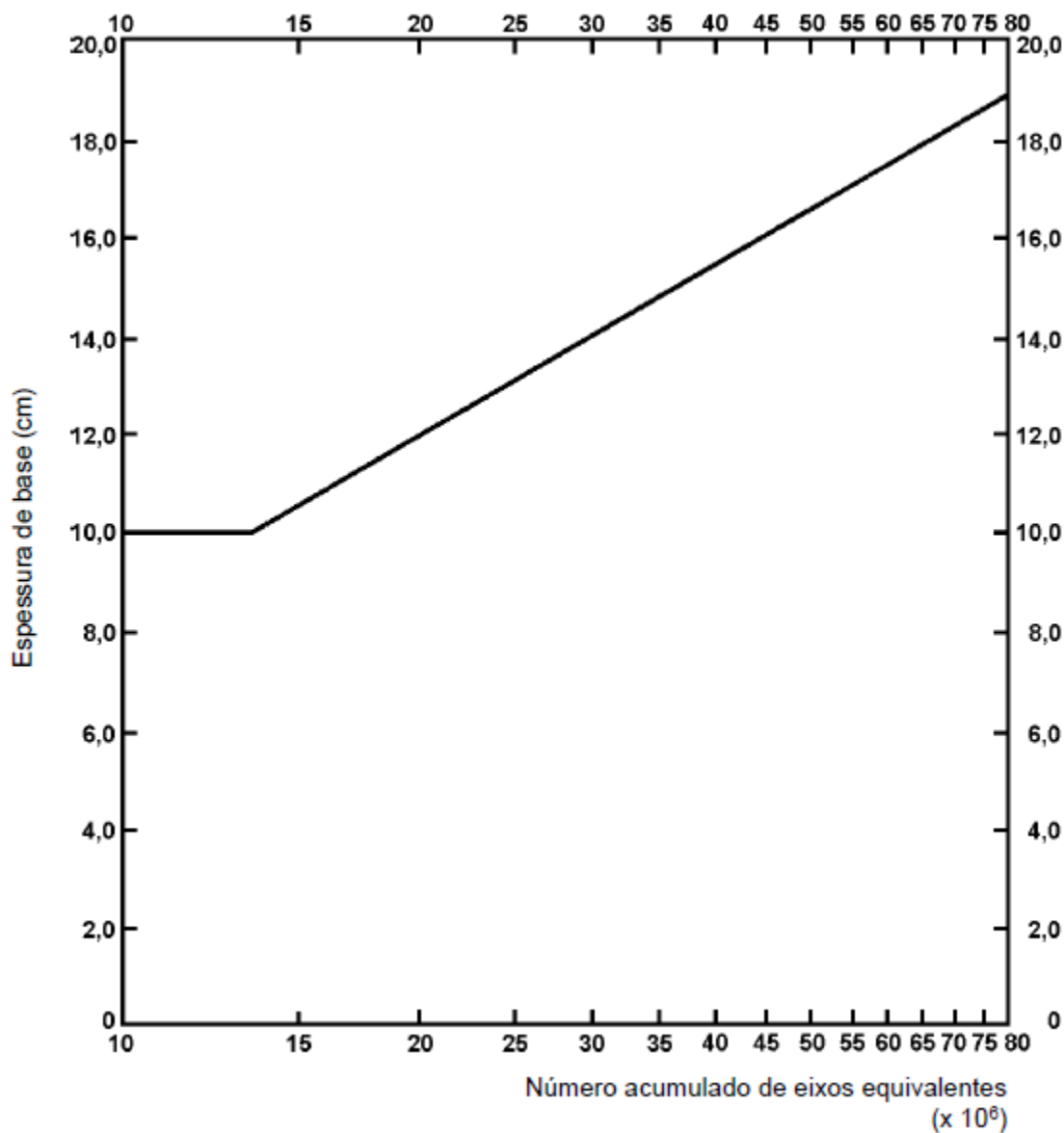
Fonte: ABCP (1998).

O ET-27 apresenta, ainda, algumas notas referentes ao gráfico da Figura 37:

- Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$, o material de sub-base deve apresentar um CBR mínimo de 30%;
- Quando $N < 0,5 \times 10^6$, o material de sub-base deve apresentar um CBR mínimo de 20%;
- Quando $N < 0,5 \times 10^6$ e o subleito apresentar um CBR igual ou superior a 20%, não é necessária a camada de sub-base;
- Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$ e o subleito apresentar um CBR igual ou superior a 30%, não é necessária a camada de sub-base.

Para a camada de base, utiliza-se o gráfico da Figura 38:

Figura 38 - Espessura da base cimentada em função do número N



Fonte: ABCP (1998).

Entretanto, quando o número de solicitações do eixo padrão for inferior a $1,5 \times 10^6$, a adoção da camada de base é dispensada. Recomenda-se o emprego desta com espessura mínima de 10 centímetros apenas quando o tráfego estiver compreendido entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 .

3.6 CUSTOS

O orçamento preliminar realizado neste trabalho tem o objetivo de servir como ferramenta de comparação entre as estruturas de pavimentação propostas. Portanto, alguns serviços necessários às obras de pavimentação, mas que não estão diretamente ligados à

execução das estruturas foram desconsiderados, como é o caso da terraplenagem, drenagem e sinalização da via. Além disso, não será contabilizado o BDI.

As etapas para a elaboração do orçamento preliminar são representadas na Figura 39.

Figura 39 - Etapas para elaboração do orçamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1. Definição das dimensões do trecho tipo

A necessidade do levantamento quantitativo para a elaboração do orçamento influenciou a criação de um trecho hipotético de um quilômetro de comprimento por seis metros de largura.

3.5.2. Levantamento dos serviços necessários para a execução da obra

Os serviços e materiais mínimos necessários para a execução da obra devem ser levantados e tabulados para que suas quantidades sejam multiplicadas por seus respectivos

preços médios, obtendo assim o custo estimado para a execução da estrutura de pavimento proposta.

3.5.3. Levantamento dos quantitativos

As quantidades dos serviços são obtidas através das dimensões do trecho hipotético definidas bem como das espessuras das camadas dimensionadas para cada estrutura de pavimentação proposta.

3.5.4. Pesquisa de preços médios/Custos Unitários dos serviços

Segundo TCU, para calcular o custo unitário de um serviço é necessário conhecer a sua composição analítica. A composição analítica é o conjunto de insumos necessários para a realização desse serviço e os coeficientes de materiais, de produtividade da mão-de-obra e do consumo horário dos equipamentos utilizados na execução.

A Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) – Lei Nº12. 708, de 17 de agosto de 2012 - indica que os preços medianos constantes do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), são indicativos dos valores praticados no mercado. Portanto, a mesma será utilizada como referência de preços neste trabalho. Entretanto, nos casos em que os custos unitários de insumos ou serviços não forem encontrados no SINAPI, poderão ser adotados aqueles disponíveis em tabelas aprovadas por órgão ou entidade da administração pública, como o Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) desenvolvido pelo DNIT. As planilhas SINAPI utilizadas serão aquelas desoneradas da contribuição de 20% ao Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) sobre a folha de pagamento.

4. RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados provenientes dos dimensionamentos realizados, relacionado aos dados de tráfego e capacidade de suporte do subleito, na forma de seções transversais com as espessuras das camadas de cada solução proposta. Serão apresentados, também, os dados obtidos na análise do tráfego.

4.1. TRÁFEGO

No presente item serão apresentados os dados obtidos através da análise do tráfego que foi utilizada no dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento. Para os pavimentos flexíveis foi utilizado o número N enquanto que, para o pavimento rígido, foi utilizada a análise de cada eixo.

4.1.2. Número N

Através do dado de entrada que caracterizou o tráfego da via hipotética como sendo composto por 20 passagens diárias do veículo 2C-LEVE, calcularam-se os fatores de carga do mesmo, demonstrados no Quadro 10:

Quadro 10 - Fatores de carga utilizados

Eixo	P (tf)	Fator de Carga (USACE)
Dianteiro	2	0,003366
Traseiro	4	0,054508

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos Fatores de Carga (FC) calculou-se o Fator de Veículo (FV). O Quadro 11 representa o FV:

Quadro 11 - Fator de Veículo (FV)

Veículo	Fator de Carga (FC)		FV
	Eixo Dianteiro	Eixo Traseiro	
2C - LEVE	0,003366	0,054508	0,057874

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicando-se a taxa de crescimento anual, o número N foi calculado. O Quadro 12 demonstra o resultado:

Quadro 12 - Número N

Número N			
Ano	VDM*	N ano	N acumulado
Base (0)	20	4,22E+02	
1	21	4,52E+02	4,52E+02
2	23	4,84E+02	9,36E+02
3	25	5,18E+02	1,45E+03
4	26	5,54E+02	2,01E+03
5	28	5,93E+02	2,60E+03
6	30	6,34E+02	3,23E+03
7	32	6,78E+02	3,91E+03
8	34	7,26E+02	4,64E+03
9	37	7,77E+02	5,41E+03
10	39	8,31E+02	6,25E+03
*Crescimento de 7%a.a. da frota considerada			

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Tráfego para pavimento rígido

O tráfego para o pavimento rígido (Quadro 13) foi calculado através do número de passagens do eixo dianteiro de 2,0 toneladas e do eixo traseiro de 4,0 toneladas durante o período de projeto de 20 anos, considerando a taxa de crescimento anual da frota de 7%.

Quadro 13 - Número de repetições do eixo dianteiro e traseiro no período de projeto

Veículo	Quantidade	Quantidade de passagem de cada eixo/dia*	
		Eixo Dianteiro	Eixo Traseiro
2C	20	20 passagens diárias	20 passagens diárias
Ano			
Base (0)		7,30E+03	7,30E+03
1		7,81E+03	7,81E+03
2		8,36E+03	8,36E+03
3		8,94E+03	8,94E+03
4		9,57E+03	9,57E+03
5		1,02E+04	1,02E+04
6		1,10E+04	1,10E+04
7		1,17E+04	1,17E+04
8		1,25E+04	1,25E+04
9		1,34E+04	1,34E+04
10		1,44E+04	1,44E+04

11	1,54E+04	1,54E+04
12	1,64E+04	1,64E+04
13	1,76E+04	1,76E+04
14	1,88E+04	1,88E+04
15	2,01E+04	2,01E+04
16	2,16E+04	2,16E+04
17	2,31E+04	2,31E+04
18	2,47E+04	2,47E+04
19	2,64E+04	2,64E+04
20	2,82E+04	2,82E+04
Acumulado nos 20 anos	3,20E+05	3,20E+05
*Crescimento de 7%a.a. da frota considerada		

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 FONTES DE MATERIAIS

Os materiais que compõe as estruturas propostas são de fácil acesso na região de projeto. Armazém localiza-se a 26 quilômetros da cidade de Tubarão, que possui 103.674 habitantes (IBGE, 2015) e a 82 quilômetros de Criciúma, esta com uma população estimada de 206.918 habitantes (IBGE, 2015). A localização próxima à essas duas cidades de grande porte fazem com que a região de projeto tenha disponibilidade de empreiteiras especializadas em pavimentação que se localizam nestas cidades. Além disso, as mesmas prestam serviços de extração e britagem de rochas, usinas de asfalto e usinas de concreto. Nos Quadros 14, 15, 16 e 17 encontram-se alguns exemplos de empresas que realizam serviços necessários para a execução das obras e suas respectivas distâncias aproximadas do trecho de projeto. As informações foram encontradas nos sites das empresas, entretanto os seus nomes não serão divulgados nesse trabalho.

Quadro 14 - Empresa Local 1

Empresa X	
Localização	Rio Maior, Urussanga/SC
Distância do trecho	25,3 quilômetros
Serviços prestados	Construção Rodoviária Comercialização de materiais britados Comercialização de massa asfáltica

Fonte: Pesquisa realizada na internet.

Quadro 15 - Empresa Local 2

Empresa Y	
Localização	São João Margem Esquerda . Tubarão/SC
Distância do trecho	29,2 quilômetros
Serviços prestados	Construção Rodoviária Comercialização de materiais britados Comercialização de concreto usinado Locação de máquinas (misturador de solo)

Fonte: Pesquisa realizada na internet.

Quadro 16 - Empresa Local 3

Empresa Z	
Localização	Vila Nova – Içara/SC
Distância do trecho	72,9 quilômetros
Serviços prestados	Construção rodoviária Comercialização de solo para aterro Locação de máquinas

Fonte: Pesquisa realizada na internet.

Quadro 17 - Empresa Local 4

Empresa W	
Localização	Distrito Industrial de Rio Maina – Criciúma/SC
Distância do trecho	88,9 quilômetros
Serviços prestados	Comercialização de artefatos de cimento

Fonte: Pesquisa realizada na internet.

A distância aproximada foi estimada através do site <https://www.google.com.br/maps> e as mesmas foram utilizadas para o cálculo da Distância Média de Transporte (DMT), que foi utilizada para a estimativa de custos.

As características dos materiais componentes das camadas de base de brita graduada, utilizada nos pavimentos flexíveis, e sub-base de solo-cimento, utilizada no pavimento rígido, são descritos no Quadro 18.

Quadro 18 - Característica dos materiais utilizados

Revestimento	
Concreto Asfáltico	Faixa "C" DNIT (Brasil, 2004); Teor de Ligante 6%.
TSD	Emulsão Asfáltica RR-2C - Taxa de aplicação 1,2 litros/m ² em cada camada; Agregados devem enquadrar-se em faixa granulométrica DNIT (Brasil, 2012).

Concreto de Cimento Portland	Ensaio de abatimento (Slump) = 7cm; Teor de Argamassa 44% a 50%; Teor de água/mistura seca de 7,5% a 8,5%; Resistência à tração aos 28 dias, $f_{ctk,m}=4,5\text{MPa}$.
Base e Sub-base	
Brita Graduada	Devem enquadrar-se nas faixas granulométricas D, E ou F do DNIT (Brasil, 2006b).
Solo-Cimento	Resistência mínima a compressão simples, aos 7 dias, entre 1,4 e 2,1MPa; Consumo mínimo de cimento igual a 4% em massa; Enquadrar-se em faixa granulométrica recomendada por DNIT (Brasil, 2005); Limite de liquidez máximo: 40%; Índice de plasticidade máximo: 18%.

Fonte: Adaptado de Brasil (2004), (2005), (2006a), (2010) e (2012).

4.3 PAVIMENTO RÍGIDO COM PLACAS DE CONCRETO

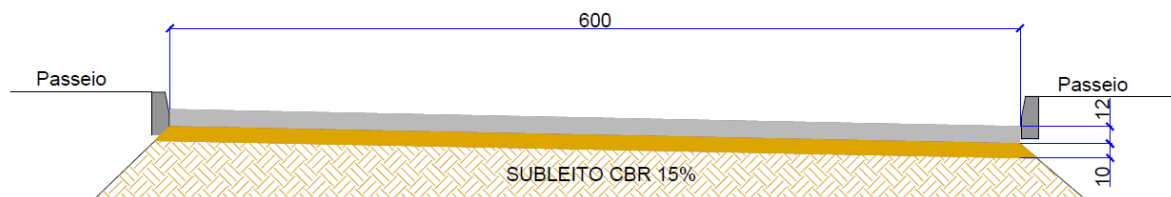
O pavimento rígido foi dimensionado com placas de concreto simples com barras de transferência de aço CA-25, com bitola 25mm, espaçadas a cada 300mm. O comprimento das barras é igual à 460mm, posicionadas nas juntas transversais para evitar o efeito do deslocamento vertical das placas neste local, que pode prejudicar a durabilidade da mesma. Foi incluído, também, sub-base de solo-cimento. A inclusão da sub-base foi considerada mesmo não influenciando na espessura final da placa de concreto, porque pretende-se evitar problemas com o nivelamento do subleito influenciando o apoio uniforme da placa. A camada de solo-cimento é uma solução adequada à esta necessidade devido à sua considerável rigidez.

Todos estes cuidados foram tomados a fim de compensar a pequena espessura da placa. Dimensionou-se a mesma com 12 centímetros de espessura, porque o método da PCA (1984) adaptado por Brasil (2006) considera esta como sendo a espessura mínima de projeto.

O comprimento das placas escolhido é de 6 metros, seguindo o que Brasil (2005) indica como dimensão comumente utilizada no país. Isso implica que a instalação das barras de transferência deve ser realizada a cada 6 metros, posicionadas previamente à concretagem, exatamente nos locais onde serão executadas as juntas transversais entre as placas. Já as juntas longitudinais devem ser executadas no meio da placa.

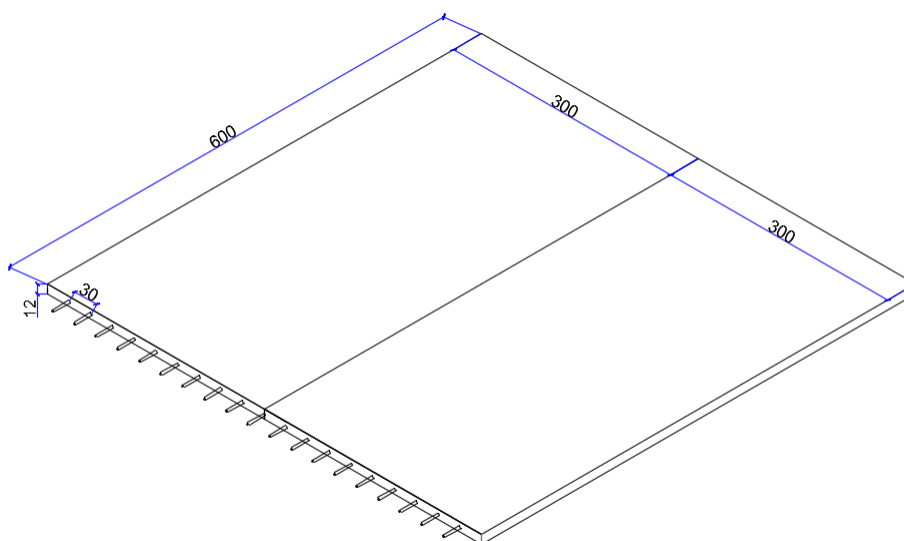
O resultado da estrutura é ilustrado nas Figuras 40 e 41.

Figura 40 - Seção transversal pavimento com placa de concreto, escala em centímetros



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 - Placa de Concreto, escala em centímetros



Fonte: Elaborado pelo autor.

A memória de cálculo do dimensionamento das espessuras do pavimento rígido de concreto encontra-se nos apêndices deste trabalho.

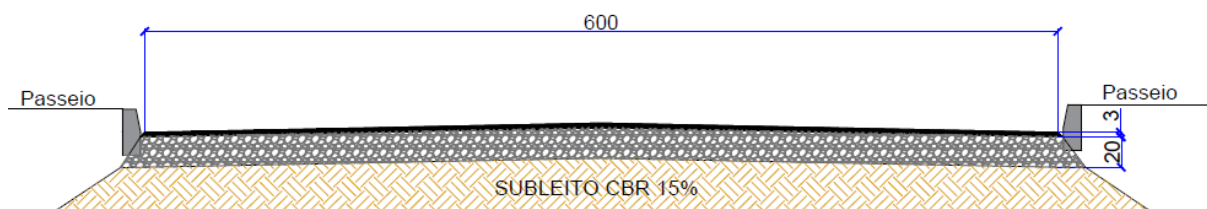
4.4 PAVIMENTO FLEXÍVEL COM REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Seguindo as diretrizes do Manual de Pavimentação do DNIT, a partir do Número N encontrado, a indicação é o dimensionamento de um tratamento superficial asfáltico. Por esta razão, escolheu-se o Tratamento Superficial Duplo (TSD).

Neste dimensionamento foi considerada a camada de revestimento, constituída pelo tratamento superficial duplo, como uma camada de 3 centímetros de espessura e o seu

coeficiente estrutural igual a 1,2, apoiada sobre uma base de 20 centímetros de brita graduada. A Figura 42 representa a configuração da estrutura dimensionada.

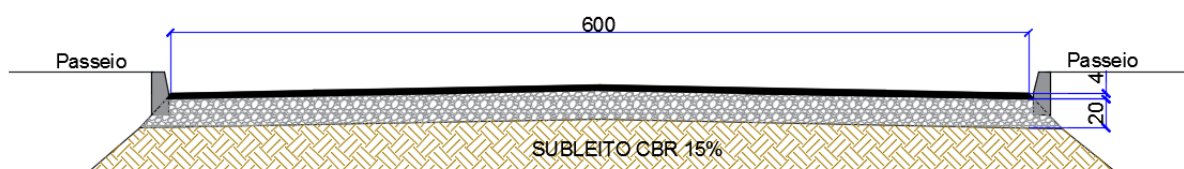
Figura 42 - Seção transversal TSD, escala em centímetros



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da indicação presente no Manual de Pavimentação do DNIT sugerir que adotasse tratamento superficial asfáltico, outra alternativa proposta foi o dimensionamento de uma estrutura de pavimento flexível com um revestimento de CA de 4 centímetros de espessura, sobre uma base de 20 centímetros de brita graduada. A Figura 43 ilustra as espessuras desta estrutura.

Figura 43 - Seção transversal Pavimento Asfáltico, escala em centímetros



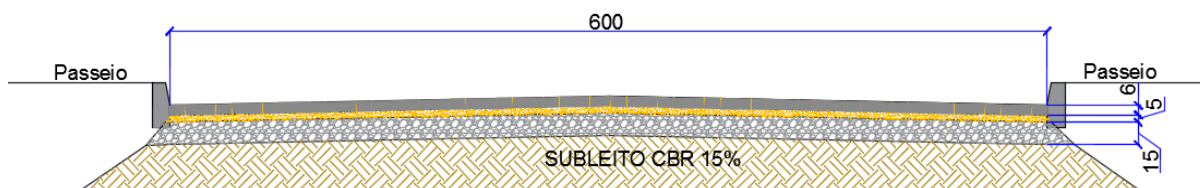
Fonte: Elaborado pelo autor.

A memória de cálculo do dimensionamento das espessuras do pavimento flexível asfáltico encontra-se nos apêndices deste trabalho.

4.5 PAVIMENTO FLEXÍVEL COM REVESTIMENTO DE PPC

A estrutura dimensionada com revestimento de PPC é ilustrada na Figura 44. O bloco utilizado é de formato retangular, com 6 centímetros de espessura, assentados sobre colchão de areia de 5 centímetros e apoiados sobre base de brita graduada de 15 centímetros.

Figura 44 - Seção Transversal Pavimento de PPC, escala em centímetros



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 CUSTOS

Após a determinação das espessuras das camadas de cada solução proposta para o trecho hipotético foi elaborado um orçamento preliminar de cada uma para compará-las. A estimativa foi realizada utilizando pesquisa de preço na referência de custos das planilhas SINAPI e SICRO-2 desoneradas do mês de Março de 2016. O detalhamento das composições utilizadas e as planilhas orçamentárias completas encontram-se nos anexos e apêndices deste trabalho.

As estruturas de pavimento rígido de concreto e pavimento com revestimento de PPC foram dimensionadas para período de projeto de 20 anos enquanto as estruturas com revestimento asfáltico foram dimensionadas para períodos de projeto de 10 anos. Para que a comparação entre as mesmas fosse realizada de forma mais justa, optou-se por realizar uma configuração distinta de custos às estruturas asfálticas, considerando que no 10º ano seria realizada uma obra de recuperação para que a mesma tenha mais 10 anos de vida útil, totalizando os mesmos 20 anos das demais alternativas propostas. Essa configuração distinta foi realizada de duas maneiras:

1ª – Obra inicial com TSD e, no décimo ano, execução de novo revestimento de TSD sobre a estrutura antiga. Portanto, na recuperação realizada no décimo ano considera-se apenas o custo da construção de uma nova camada de revestimento, apoiada sobre a estrutura antiga.

2ª - Obra inicial com TSD e, no décimo ano, execução de novo revestimento com camada de CA de 4 centímetros sobre a estrutura antiga. Portanto, no décimo ano considera-se apenas o custo da camada de revestimento de CA.

O resultado das estimativas de custo é expresso no Quadro 19.

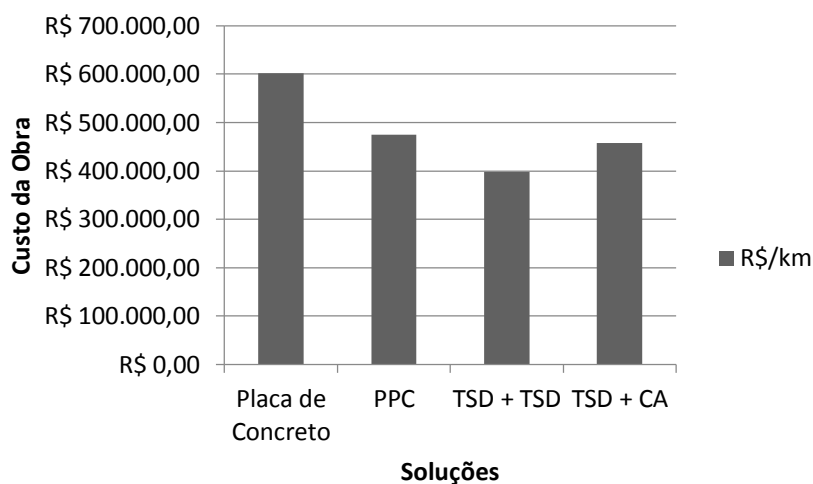
Quadro 19 - Resumo da estimativa de custos

Estimativa de Custos				
	Pavimento rígido	Pavimento flexível		
Revestimento	Placa de Concreto	PPC	TSD+TSD	TSD+CA
Custo Total	R\$ 601.430,89	R\$ 474.426,56	R\$ 398.110,40	R\$ 457.541,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 45 ilustra o comparativo de custos entre as alternativas propostas:

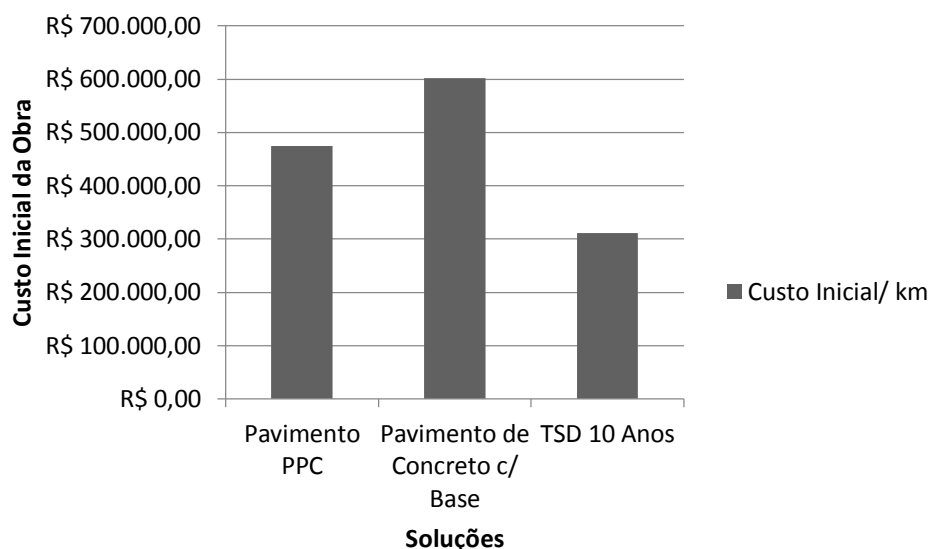
Figura 45 - Comparativo entre os custos totais de cada solução



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um importante indicador que auxilia a tomada de decisão é o custo inicial de construção de uma obra. Ele pode ser determinante no caso do município não possuir recursos suficientes para executar uma obra com durabilidade elevada, mas ao mesmo tempo, necessitar a realização da mesma para que melhorias sejam promovidas na cidade. Portanto, o tomador de decisão poderá optar entre uma obra com uma durabilidade maior, porém com um custo mais elevado, ou outra obra com uma durabilidade reduzida, mas com um custo factível. Comparando-se apenas o custo inicial das quatro soluções dimensionadas, encontra-se a configuração expressa na Figura 46.

Figura 46 - Comparativo do custo inicial de cada solução



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que, quando comparadas as estruturas para uma vida útil de 20 anos, a solução mais econômica é a execução de um TSD para 10 anos, com uma base de brita graduada de 20 centímetros e, no décimo ano, sua recuperação com um novo revestimento de TSD sobre a estrutura antiga. Esta solução é aproximadamente uma terça mais econômica que a pavimentação com placas de concreto de cimento Portland de 12 centímetros, com sub-base de solo-cimento e cerca de 16% menos onerosa que a pavimentação com PPC sobre base de brita graduada de 15 centímetros.

Outro importante indicador analisado é o custo inicial das obras, uma vez que, para permitir a comparação das obras com tempo de vida útil igual, a construção do pavimento asfáltico foi separada em duas etapas. Novamente a solução com revestimento de TSD e base de brita graduada foi a mais econômica, sendo o seu custo aproximadamente metade do custo inicial necessário para a construção de um pavimento de concreto com sub-base de solo-cimento nas dimensões citadas e cerca de 35% menos oneroso que a construção de um pavimento de PPC com base de brita graduada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos objetivos propostos neste trabalho, levantaram-se subsídios teóricos e práticos para compreender a tecnologia do pavimento rígido de concreto de cimento Portland e avaliar a sua aplicação no trecho hipotético. Além disso, avaliou-se alternativas aplicáveis à região, que teriam potencial de serem mais vantajosas à situação, em detrimento da escolha do pavimento de concreto. Estes conhecimentos foram aplicados à escolha da melhor alternativa de pavimentação para uma via hipotética de baixo volume de tráfego, utilizando dados de referência do município de Armazém, localizado no interior de Santa Catarina.

Os resultados do dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento resultaram em estruturas distintas entre si, que possuem suas próprias características, vantagens e desvantagens. O dimensionamento do pavimento rígido resultou em uma estrutura com placa de concreto com 12 centímetros de espessura e uma base de solo-cimento com 10 centímetros de espessura. O pavimento flexível com revestimento de PPC resultou em uma camada de 6 centímetros, assentada sobre colchão de areia de 5 centímetros e base de brita graduada com 15 centímetros de espessura e, por fim, o pavimento flexível asfáltico resultou em um revestimento de TSD ou com um revestimento de concreto asfáltico de 4 centímetros, ambos sobre base de 20 centímetros de brita graduada.

O papel do engenheiro civil, neste caso, é escolher dentre as opções, aquela que mais se adapta na situação do projeto em termos técnicos e econômicos, notoriamente em relação a disponibilidade de materiais na região, o tráfego que a via estará submetida e, também, o custo de cada solução. Ou seja, não há alternativa perfeita que seja adequada à todas as situações.

O pavimento de concreto resultante do dimensionamento mostrou-se uma estrutura robusta para as condições requeridas pela via hipotética. Caso as condições de projeto fossem satisfeitas no momento da execução do pavimento, sua durabilidade seria a grande vantagem, visto que o tráfego previsto na região não provoca consumo significativo das parcelas de fadiga e erosão em seu dimensionamento. Porém, isso caracteriza um superdimensionamento da via, evidenciado principalmente pela inexistência do consumo da parcela de fadiga e pelo custo elevado desta solução quando comparada às demais.

Quanto à disponibilidade de materiais, a pesquisa realizada demonstrou que as principais matérias-primas para o mesmo seriam facilmente encontradas na região. Próximo ao local analisado há fornecedores de concreto e há disponibilidade de solo para a sub-base de solo-cimento.

Outro problema da aplicação desta solução para o trecho hipotético seria os encontros com as vias adjacentes, as quais estão em estado de leito natural. A diferença de deformabilidade entre a placa de concreto e o solo do leito natural poderia provocar um ‘degrau’ no local, prejudicando as condições de rolamento dos veículos. Esse fato criou a necessidade de considerar a execução de um meio-fio de concreto nesta região para que o efeito do degrau fosse mitigado.

Por fim, o investimento inicial é muito alto quando comparado às demais alternativas (o dobro da solução TSD), evidenciado na Figura 46, que compara os custos iniciais de cada solução proposta. Considera-se este um dos grandes problemas, visto que o projeto foi idealizado para um município de pequeno porte. Nestes municípios, os recursos destinados à pavimentação recebem grande peso no orçamento e a escolha por uma solução de custo inicial menor, mesmo que com menor durabilidade, pode ser mais adequada à realidade dos mesmos.

O pavimento com peças pré-moldadas de concreto (PPC) resultante do dimensionamento apresenta-se como uma alternativa ao pavimento com placas de concreto. Há disponibilidade de materiais na região, assim como empreiteiras capazes de executar o serviço, o qual não requer inúmeros equipamentos especiais e necessita de uma mão de obra menos especializada quando comparado às outras soluções. O encontro com as vias adjacentes em leito natural não é um problema se executado um meio-fio de travamento no local, confinando as peças pré-moldadas de concreto. Seu custo é cerca de 80% da solução com pavimento de concreto e é a segunda solução mais onerosa.

O pavimento asfáltico dimensionado mostrou-se uma alternativa viável ao pavimento com placas de concreto e ao pavimento de PPC em termos técnicos e econômicos. A disponibilidade de materiais e empreiteiras experientes na região de projeto é uma grande vantagem desta solução. O Tratamento Superficial Duplo (TSD) é a solução com custo inicial mais econômica dentre todas e, mesmo quando prevista uma nova camada de revestimento no décimo ano, esta solução continua sendo a menos onerosa. O encontro com as vias adjacentes em leito natural não é um problema para o revestimento asfáltico.

Por fim, dentre todas as soluções propostas, percebe-se que o pavimento de concreto ainda não é a melhor alternativa para a via hipotética devido aos altos custos de construção. Os resultados obtidos demonstram que o revestimento asfáltico com TSD apresenta-se como a alternativa mais adequada dentre as estudadas neste trabalho.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Através dos resultados obtidos, expõe-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Em vias urbanas de baixo a médio volume de tráfego, recomenda-se que sejam adotadas soluções de dimensionamento compatíveis para o tráfego em relação ao custo final;
- Neste caso, sugere-se a adoção de catálogos de dimensionamento, para o caso de municípios de pequeno porte, o que mitiga a falta de normativas e de profissionais qualificados;
- Para o dimensionamento, os municípios deveriam conter um banco de dados dos solos da região (mapeamento geotécnico);
- Sugere-se que, em futuros trabalhos, sejam propostas outras alternativas de dimensionamento com variação dos materiais das camadas constituintes e de revestimento e avaliação do custo final das mesmas.

REFERÊNCIAS

ABREU, Raphael Lorenzeto – **Map of Santa Catarina State**. [S.l.], 2016. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SantaCatarina_MesoMicroMunicip.svg. Acesso em 12 de Novembro de 2016.

AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS (AGETOP). Instrução Técnica 02 – Manual de Pavimentação Urbana. Goiânia, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **ET-27. Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4a Edição. São Paulo, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Barras de Transferência e de Ligação – Concreteshow 2012** - Engenheiro Rubens Curti. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/download/?search=Pavimento%20de%20Concreto> . Acesso em 12 de Novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **‘Governar é Abrir Estradas’- O concreto pavimento os caminhos na formação de um novo país**. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Tecnologia de Pavimento de Concreto – Concreteshow 2015** - Engenheiro Rubens Curti. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/download/?search=Pavimento%20de%20Concreto> . Acesso em 12 de Novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Pavimento de Concreto: Tecnologia e Aplicação no Brasil – Concrespaço, Rodadado Conhecimento** - Engenheiro Ricardo Moschetti. São Paulo, 2015. –Disponível em:

<http://www.abcp.org.br/cms/download/?search=Pavimento%20de%20Concreto> . Acesso em 12 de Novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781/1987: Regularização do Subleito - Procedimento. Especificação.** São Paulo, 1987.

AHLVIN, R.G. **Origin of developments for structural design of pavements.** Technical Report GL-91-26, Vicksbrg, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. [S.l.] 1991.

ASPHALT INSTITUTE. **Manual Del Asfalto.** Trad. Do inglês: Manuel Velaquez, Bilbao: Urmo, 1973

BALBO, J.T. **Avaliação Crítica de Técnicas de Dimensionamento Estrutural de Pavimentos de Concreto Simples.** Anais do V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, PEF/PCC, ISBN 85-86686-19-0. São Paulo, 2003.

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica, Materiais Projeto e restauração.** São Paulo, Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J.T. **Pavimentos de Concreto.** São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

BEATY, A.N. S. **Laying Coure Materials: Specification and Performance.** Fifth International Concrete Block Paving Conference, Tel-Aviv, Israel, 1996.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti ; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Estudos de Tráfego.** Rio de Janeiro, 2006a.

_____. **Manual de pavimentação.** 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **Manual de pavimentos rígidos**. 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ES 031 – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **ES 147 – Pavimentação Asfáltica – Tratamento Superficial Duplo**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **ES 143 – Pavimentação – Base de Solo-Cimento**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Sistema de Custos Referenciais de Obras 2 (SICRO-2)**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro>. Acesso em 10 de Outubro de 2016.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em 10 de Outubro de 2016.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA). [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimento de Concreto: Reduzindo o custo social** – São Paulo, 2007. Disponível em: http://viasconcretas.com.br/wpcontent/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

COOK, I. D., KNAPTON, J. **A Design Method for Lightly Trafficked and Pedestrian Pavements**. Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 339-348, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FONTES, Liseane Padilha Thives da Luz. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Lisboa, 2010.

HALLACK, Abdo. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, 1998.

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE, TECH SPEC nº 4. **Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots**. Washington, USA, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2016 - **Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação** com data de referência em 1º de julho de 2016. [S.l.], 2016. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2010 – **Censo 2010**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2010 – **Censo 2010**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2011/04/total-de-habitantes-das-areas-urbanas-cresce-e-chega-a-84-4-em-2010>. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

JUNGLES, Antônio Edésio. ÁVILA, Vitorino. **Gerenciamento na Construção Civil**. Florianópolis: Argos, 2006

LENZ, R. W. **Pavement Design Guide** - Texas Department of Transportation. [S.l.], 2011. Disponível em: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/manual_notice.htm. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

LOPES, O. C.; AVILA, A. V.; LIBRELOTTO, L. I. **Orçamento de Obras - Construção Civil**. Florianópolis: Unisul, 2003. Apostila elaborada para a disciplina de Construção Civil.

MAGGI, Patrícia Lizi de Oliveira. **Comportamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados sob Carregamentos Estáticos Repetidos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como Preparar Orçamentos de Obras**: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2006. 281 p.

OLIVERA, Ramon. BRUNING, Ricardo. [S.l], 2014. Disponível em:
<http://centralbusdesign.blogspot.com.br/2014/02/mercedes-benz-l-608d.html>. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

PACKARD, R.G.; TAYABJU, S. **New PCA thickness design procedure for concrete highway and street pavements**. In: International Conference of Concrete Pavement Design and Rehabilitation, 3., 1984, West Lafayette, Proceedings.... West Lafayette: PurdueUniversity. 1984. P 225-236

PEREIRA, Deividi da Silva. **Estudo do Comportamento de Pavimentos de Concreto Simples em Condições de Aderência Entre Placa de Concreto e Base Cimentada ou Asfáltica**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PESSOA JÚNIOR, Elci. **Manual de Obras Rodoviárias e Pavimentação Urbana – Execução e Fiscalização**. São Paulo, PINI, 2014.

PREGO, Atahualpa Schmitz da Silva. **A memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro, ABPv 2001.

REIS, Nestor Goulart dos. **Memória do transporte rodoviário: desenvolvimento das atividades rodoviárias de São Paulo**. São Paulo: CPA, 1995

SÃO PAULO, Prefeitura Municipal. **Instrução de Projeto nº06 – Dimensionamento de Pavimentos com Blocos de Concreto Intertravados**. São Paulo, 2004.

SÃO PAULO, Prefeitura Municipal. **Instrução de Projeto nº02 – Classificação das Vias**. São Paulo, 2004b.

SAMPAIO, Fernando Morethson. **Orçamento e Custo da Construção**. 1. Ed. Brasília: Editora Hemus, 1989.

SENÇO, Wlattermiller. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo, PINI, 1997.

SHACKEL, B. **Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavement**. Elsevier, New York and London, 1990.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES (SINDIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante de 2016**. [S.l.], 2016. Disponível em: http://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2016/RFC_2016.pdf. Acesso em 11 de Outubro de 2016.

SOUZA, M. L. de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1981.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na Construção Civil: consultoria, projeto e execução**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pini, 2006.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Obras Públicas – Recomendações Básicas para a Contratação e Fiscalização de Obras e Edificações Públicas**. Brasília, 2013.

VILLIBOR, D.G; NOGAMI, J.S.; Cincerre, J.R; SERRA, P.R.M; NETO, A.Z. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas, Bases Alternativas com Solos Lateríticos**. São Paulo, Arte & Ciência, 2007.

YODER, E.; WITCZACK, M. **Principles of pavement design**. 2 ed. New York: John Willey & Sons, 1975.

APÊNDICES

Quadro 20 - Planilha Orçamentária - Pavimento de Concreto

Solução	Pavimento de Concreto com Base de Solo Cimento					DATA
						10/05/2016
Referência	SICRO e SINAPI 03/2016 DESONERADO					
ITEM	CÓDIGO (SINAPI/SICRO)	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO DO SERVIÇO
1	72961	Regularização e Compactação de subleito	m²	6.000,00	R\$ 1,26	R\$ 7.560,00
2	72919	Base de Solo Cimento 4%, exclusive escavação, carga e transporte do solo	M³	600,00	R\$ 48,22	R\$ 28.932,00
3	6079	Argila vermelha ou argila arenosa (retirada na jazida, sem transporte) - Base	m³	600,00	R\$ 9,97	R\$ 5.982,00
4	72887	Transporte de material - Solo (Base) DMT=70km	m³/km	42.000,00	R\$ 0,92	R\$ 38.640,00
5	COMPOSIÇÃO 03	Impermeabilização - Pintura de Ligação c/ emulsão RR-1C	m²	6.000,00	R\$ 1,78	R\$ 10.671,78
6	68053	Impermeabilização - Fornecimento e instalação de lona plástica para impermeabilização	m²	6.000,00	R\$ 4,24	R\$ 25.440,00
7	2 S 02 607 00	Concreto cimento portland c/ equipamento de pequeno porte - incluído serragem das juntas, barras de transferência e cura do concreto	m³	720,00	R\$ 501,86	R\$ 361.339,20
8	1 A 00 002 50	Transporte Concreto Usina-Trecho (2,4T/m³) - DMT=29km	Txkm	50.112,0000	R\$ 0,84	R\$ 42.094,08
9	74076/3	Forma tabua p/ concreto com reaproveitamento 10x	m²	240,00	R\$ 19,45	R\$ 4.668,00
10	COMPOSIÇÃO 2	Armação AÇO CA-50 diam 16,0 à 25,0mm - fornecimento/corte/dobra/colocação (perda 10%)	kg	841,30	R\$ 6,57	R\$ 5.528,27
11	74223/001	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	m	2.000,00	R\$ 34,84	R\$ 69.680,00
12	73789/2	Meio-fio de concreto moldado no local	m	12,00	74,63	R\$ 895,56
VALOR TOTAL R\$						R\$ 601.430,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 21 - Planilha Orçamentária - TSD+TSD

Solução	Tratamento Superficial Duplo - 10 Anos + Revestimento de TSD 10 Anos					DATA
						10/05/2016
Referência	SINAPI 03/2016 DESONERADO					
ITEM	CÓDIGO (SINAPI)	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	PREÇO UNITÁRIO
1	72961	Regularização e Compactação de subleito	m²	6.000,00	R\$ 1,26	R\$ 7.560,00
2	73710	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	m³	1.200,00	R\$ 98,60	R\$ 118.320,00
	72887	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km	m³xk m	30.000,00	R\$ 0,92	R\$ 27.600,00
3	72844	Carga, manobras e descarga de MATERIAL P/ BASE - Peso Especif=2,8 t/m³	T	3.360,00	R\$ 0,64	R\$ 2.150,40
4	72945	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-30	m²	6.000,00	R\$ 4,63	R\$ 27.780,00
6	72958	Tratamento Superficial Duplo - TSD - com emulsão RR-2C	m²	6.000,00	R\$ 9,08	R\$ 54.480,00
7	72887	Transporte de material - Brita graduada (TSD) DMT=25km	m³xk m	4.500,00	R\$ 0,92	R\$ 4.140,00
8	74223/001	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	m	2.000,00	R\$ 34,84	R\$ 69.680,00
TSD (Revestimento) por mais 10 anos						
9	72945	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-30	m²	6.000,00	R\$ 4,63	R\$ 27.780,00
10	72958	Tratamento Superficial Duplo - TSD - com emulsão RR-2C	m²	6.000,00	R\$ 9,08	R\$ 54.480,00
11	72887	Transporte de material - Brita graduada (TSD) DMT=25km	m³xk m	4.500,00	R\$ 0,92	R\$ 4.140,00
VALOR TOTAL R\$						R\$ 398.110,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 22 - Planilha Orçamentária - TSD+CA

Solução		Tratamento Superficial Duplo - 10 Anos + RevestimentoAsfáltico 10 Anos				DATA
Referência		SINAPI 03/2016 DESONERADO				10/05/2016
ITEM	CÓDIGO (SINAPI)	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	PREÇO UNITÁRIO
1	72961	Regularização e Compactação de subleito	m²	6.000,00	R\$ 1,26	R\$ 7.560,00
2	73710	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	m³	1.200,00	R\$ 98,60	R\$ 118.320,00
	72887	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km	m³xkm	30.000,00	R\$ 0,92	R\$ 27.600,00
3	72844	Carga, manobras e descarga de MATERIAL P/ BASE - Peso Especif=2,8 t/m³	T	3.360,00	R\$ 0,64	R\$ 2.150,40
4	72945	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-30	m²	6.000,00	R\$ 4,63	R\$ 27.780,00
6	72958	Tratamento Superficial Duplo - TSD - com emulsão RR-2C	m²	6.000,00	R\$ 9,08	R\$ 54.480,00
7	72887	Transporte de material - Brita graduada (TSD) DMT=25km	m³xkm	4.500,00	R\$ 0,92	R\$ 4.140,00
8	74223/001	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	m	2.000,00	R\$ 34,84	R\$ 69.680,00
Asfáltico (Revestimento) por mais 10 anos						
10	72943	Pintura de Ligação com Emulsão RR-2C	m²	6.000,00	R\$ 1,34	R\$ 8.040,00
11	72965	Fabricação e aplicação de concreto asfáltico, CAP 50/70, Exclusive transporte	T	600,00	R\$ 209,24	R\$ 125.544,00
12	72842	Transporte CA - Usina-Obra DMT=25km	txkm	15.000,00	R\$ 0,74	R\$ 11.100,00
13	72891	Carga, manobras e descarga de mistura betuminosa a quente com caminhão basculante 6m³, descarga em vibro-acabadora	m³	240,00	R\$ 4,78	R\$ 1.147,20
VALOR TOTAL R\$						R\$ 457.541,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 23 - Planilha Orçamentária - PPC

Solução	Pavimento de PPC					DATA
Referência	SINAPI 03/2016 DESONERADO					10/05/2016
ITEM	CÓDIGO (SINAPI)	DISCRIMINAÇÃO	UNID .	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO DO SERVIÇO
Pavimentação						
1	72961	Regularização e compactação do subleito	m²	6.000,00	R\$ 1,26	R\$ 7.560,00
2	73710	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	m³	600,00	R\$ 98,60	R\$ 59.160,00
3	74223/001	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	m	2.000,00	R\$ 34,84	R\$ 69.680,00
4	COMPOSIÇÃO 1	Pavimento de Bloco de Concreto Intertravado	m²	6.000,00	R\$ 52,50	R\$ 314.971,80
12	72887	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km	m³xk m	15.000,00	R\$ 0,92	R\$ 13.800,00
13	72887	Transporte de material - Colchão - DMT=25km	m³xk m	7.500,00	R\$ 0,92	R\$ 6.900,00
14	72844	Carga, manobras e descarga de Material p/ Base - Peso Especif=2,8	T	1.680,00	R\$ 0,64	R\$ 1.075,20
15	72844	Carga, manobras e descarga Colchão de Areia - Peso Especif=2,0t/m	T	600,00	R\$ 0,64	R\$ 384,00
16	73789/2	Meio-fio de concreto moldado no local	m	12,00	74,63	R\$ 895,56
VALOR TOTAL R\$						R\$ 474.426,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 24 - COMPOSIÇÃO 1

COMPOSIÇÃO 1: PAVIMENTO DE PPC*						
ITEM	CÓDIGO (SINAPI)	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	Custo do Serviço
1	72948	Colchão de areia para pavimentação em paralelepípedo ou blocos de concreto intertravados	m³	0,05	R\$ 68,74	R\$ 3,44
2	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (sem frete) - rejunte	m³	0,00	R\$ 55,50	R\$ 0,00
3	91277	Compactação - Placa vibratória	CHP	0,11	R\$ 5,48	R\$ 0,60
4	88260	Calceteiro c/ encargos complementares	h	0,16	R\$ 15,15	R\$ 2,42
5	88316	Servente c/ encargos complementares	h	0,35	R\$ 12,29	R\$ 4,30
6	36155	PPC	m²	1,00	R\$ 41,73	R\$ 41,73
*Com base em SINAPI 72147/001					Total	R\$ 52,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 25 - COMPOSIÇÃO 2

COMPOSIÇÃO 2: ARMACAO ACO CA-25 DIAM.20,0mm (1) - FORNECIMENTO/CORTE / DOBRA / COLOCAÇÃO.						
ITEM	CÓDIGO (SINAPI)	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	Custo do Serviço
1	88245	Armador com Encargos Complementares	h	0,07	R\$ 16,73	R\$ 1,17
2	88238	Ajudante Armador com Encargos Complementares	h	0,07	R\$ 13,10	R\$ 0,92
5	24	Aço CA-25, 20,0 mm, Vergalhão	kg	1,1	R\$ 3,86	R\$ 4,25
6	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25mm (0,01kk/m)	kg	0,03	R\$ 7,90	R\$ 0,24
*Com base em SINAPI 74254-1					Total	R\$ 6,57

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 26 - Memorial de Cálculo dos Quantitativos do Orçamento

Pavimento de PPC		
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	MEMÓRIA DE CALCULO
1	Regularização e compactação do subleito	Comprimento×largura do trecho (1000,0m×6,0m)
2	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	Área do trecho×espessura da camada (6000,0m²×0,15m)
3	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	Comprimento do trecho×2 lados (1000,0m×2)
4	Pavimento de PPC	Área do trecho
5	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km (Tubarão)	Volume×DMT
6	Transporte de material - Colchão - DMT=25km	Volume×DMT
7	Carga, manobras e descarga de Material p/ Base - Peso Especif.=2,8 t/m³	Volume×Peso Especifico
8	Carga, manobras e descarga Colchão de Areia - Peso Especif.=2,0t/m³	Volume×Peso Especifico
9	Meio-fio de concreto moldado no local	Meio fio de travamento da estrutura, no início e final do trecho (2×6,0m)

Pavimento Asfáltico		
1	Regularização e Compactação de subleito	Comprimento×largura do trecho (1000,0m×6,0m)
2	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	Área do trecho×espessura da camada (6000,0m²×0,15m)
3	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km (Tubarão)	Volume×DMT
4	Carga, manobras e descarga de MATERIAL P/ BASE - Peso Especif.=2,8 t/m³	Volume×Peso Especifico*DMT
5	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-30	Área do trecho
6	Pintura de Ligação com Emulsão RR-2C	Área do trecho
7	Fabricação e aplicação de concreto asfáltico, CAP 50/70, Exclusive transporte	Área do trecho×espessura da camada× Peso especifico (6000,0m²×0,05m×2,5t/m³)
8	Transporte CA - Usina-Obra DMT=25km	Peso do CA*DMT
9	Carga, manobras e descarga de mistura betuminosa a quente com caminhão basculante 6m³, descarga em vibro-acabadora	Área do trecho×espessura da camada de CA
10	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	Comprimento do trecho×2 lados (1000,0m×2)

TSD		
1	Regularização e Compactação de subleito	Comprimento×largura do trecho (1000,0m×6,0m)
2	Base para pavimentação com brita graduada, inclusive compactação	Área do trecho*espessura da camada (6000,0m²×0,15m)
3	Transporte de material - Brita graduada (base) DMT=25km	Volume×DMT
4	Carga, manobras e descarga de MATERIAL P/ BASE - Peso Especif.=2,8 t/m³	Volume×Peso Especifico×DMT
5	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CM-30	Área do trecho
6	Tratamento Superficial Duplo - TSD - com emulsão RR-2C	Área do trecho
7	Transporte de material - Brita graduada (TSD) DMT=25km	Área do trecho×Espessura TSD×DMT (6000,0m²×0,03m×30km)
8	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	Comprimento do trecho×2 lados (1000,0m×2)

PAVIMENTO COM PLACA DE CONCRETO		
1	Regularização e Compactação de subleito	Comprimento×largura do trecho (1000,0m×6,0m)
2	Base de Solo Cimento 4%, exclusive escavação, carga e transporte do solo	Área do trecho×Espessura da camada (6000,0m²×0,1m)
3	Argila vermelha ou argila arenosa (retirada na jazida, sem transporte) - Base	Área do trecho×Espessura da camada ×Empolamento (6000,0m²×0,1m×1,3)
4	Transporte de material - Solo (Base) DMT=70km	Volume×DMT
5	Impermeabilização - Pintura de Ligação c/ emulsão RR-1C	Área da placa
6	Impermeabilização - Fornecimento e instalação de lona plástica para impermeabilização	Área da placa
7	Concreto cimento Portland c/ equipamento de pequeno porte - incluída serragem das juntas, barras de transferência e cura do concreto	Área da placa×Espessura da placa (6000,0m²×0,12m)
8	Transporte Concreto Usina-Trecho (2,4T/m³)	Volume de concreto×Peso Específico×DMT
9	Forma tabua p/ concreto com reaproveitamento 10x	Comprimento do trecho×2 lados× Espessura da placa (1000,0m×2×0,12m)
10	Meio-fio de concreto pré-moldado, dimensões 12x15x30x100cm	Comprimento do trecho*2 lados (1000,0m*2)

11	Meio-fio de concreto moldado no local	Meio fio de travamento da estrutura, no início e final do trecho (2×6,0m)
----	---------------------------------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Memória de cálculo do Dimensionamento das espessuras do pavimento rígido de concreto

Quadro 27 - Planilha Auxiliar dimensionamento PCA/1984

Projeto	TCC		Juntas com BT	Sim
Espessura	12	cm	Acostamento de Concreto	não
ksist	143	Mpa/m	Período de Projeto	20 anos
fctM,k	4,5	Mpa	sub-base	solo-cimento
Fsc	1			

Carga Eixo (KN)	Carga x FS	Repet. Prev.	Analise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Solic. Adm	Cons.da Fadiga	Solic. Adm	Cons. da erosão
Eixos Simples						
Tensão Equivalente:		3	Fator de Fadiga:	0,67	Fator de erosão:	3,63
40	40	640432	Ilimitado	-	5000000	0,128086316
			DANO PARCIAL	0,00%	DANO PARCIAL	12,81%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O tráfego acumulado representativo do eixo dianteiro de 2,0 toneladas foi considerado como sendo igual ao eixo traseiro de 4,0 toneladas, a favor da segurança, e ambos foram somados para que a análise da fadiga e da erosão fosse realizada, uma vez que eixos de 2,0 toneladas não são considerados na mesma.

Memória de Cálculo do dimensionamento do pavimento asfáltico

TSD + TSD

Número N para os 10 primeiros anos: $6,25 \times 10^3$

$$H_m = 23,44 \text{ cm}$$

$$RK_R + BK_B \geq H_m$$

$$3,0 \times 1,2 + B \times 1,0 \geq 23,44$$

$$B = 19,84$$

$$B_{\text{adotado}} = 20,0 \text{ cm}$$

Resultado: TSD sobre base de 20 centímetros para uma vida útil de 10 anos.

Número N a partir do 10º ano: $1,23 \times 10^4$

Quadro 28 - Número N a partir do ano 11

Número N			
Ano	VDM*	N ano	Nacumulado
11	42	8,89E+02	8,89E+02
12	45	9,52E+02	1,84E+03
13	48	1,02E+03	2,86E+03
14	52	1,09E+03	3,95E+03
15	55	1,17E+03	5,11E+03
16	59	1,25E+03	6,36E+03
17	63	1,33E+03	7,70E+03
18	68	1,43E+03	9,12E+03
19	72	1,53E+03	1,07E+04
20	77	1,63E+03	1,23E+04

Fonte: Elaborado pelo autor.

$$H_m = 24,21 \text{ cm}$$

$$RK_R + BK_B \geq H_m$$

$$3,0 \times 1,2 + B \times 1,0 \geq 24,21$$

$$B = 20,61$$

$$B_{\text{adotado}} = 20,0 \text{ cm}$$

Como o tráfego já está dimensionado a favor da segurança, optou-se por arredondar para 20 centímetros a espessura da base.

Resultado: TSD sobre base de 20 centímetros para uma vida útil de 10 anos.

TSD + Asfáltico

Número N para os 10 primeiros anos: $6,25 \times 10^3$

$$H_m = 23,44 \text{ cm}$$

$$RK_R + BK_B \geq H_m$$

$$3,0 \times 1,2 + B \times 1,0 \geq 23,44$$

$$B = 19,84$$

$$B_{\text{adotado}} = 20,0 \text{ cm}$$

Resultado: TSD sobre base de 20 centímetros para uma vida útil de 10 anos.

Número N a partir do 10º ano: $1,23 \times 10^4$

$$H_m = 24,21 \text{ cm}$$

$$RK_R + BK_B \geq H_m$$

$$4,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 24,21$$

$$B = 16,61$$

$$B_{\text{adotado}} = 20,0 \text{ cm}$$

Resultado: TSD sobre base de 20 centímetros para uma vida útil de 10 anos.

ANEXOS

Composições relevantes retiradas das planilhas SICRO-2 e SINAPI.

Tabela 1 - Composição SICRO para a Placa de Concreto de Cimento Portland

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Construção Rodoviária			SICRO2
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina			RCTR0320
Mês : Março / 2016			Produção da Equipe : 11,20 m3			(Valores em R\$)
2 S 02 607 00 - Concreto cimento portland c/ equip. pequeno porte						
A - Equipamento	Quantidade	Utilização	Custo Operacional	Custo Horário		
		Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo			
E333 - Serra de Disco Diamantado - para concreto (10 kW)	1,00	0,56 0,44	31,43 14,14	23,83		
E337 - Régua vibratória - 4,25m (4 kW)	1,00	0,90 0,10	17,38 14,14	17,06		
E402 - Caminhão Carroceria - de madeira 15 t (210 kW)	0,40	1,00 0,00	145,30 13,99	58,12		
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	0,05	1,00 0,00	149,12 13,99	7,46		
E427 - Caminhão Betoneira - 11,5 t 5m3 (205 kW)	1,61	1,00 0,00	146,55 13,99	235,95		
E508 - Grupo Gerador - Manual/eletrico (14 kW)	2,00	1,00 0,00	8,32 0,00	16,64		
Custo Horário de Equipamentos					359,05	
B - Mão-de-Obra	Quantidade		Salário-Hora	Custo Horário		
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00		32,35	32,35		
T604 - Pedreiro	2,00		14,14	28,28		
T701 - Servente	6,00		9,40	56,42		
Custo Horário da Mão-de-Obra					117,05	
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)					24,01	
Custo Horário de Execução					500,11	
Custo Unitário de Execução					44,65	
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
M620 - Protetor de cura do concreto	0,7500	kg	6,53	4,90		
M949 - Disco diam. serra asfalto SD8-034	0,0010	un	378,02	0,38		
Custo Total do Material					5,28	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
1 A 01 580 03 - Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 25	1,0000	kg	6,82	6,82		
1 A 01 657 00 - Usinagem p/ conc.cim. portland c/ equip. peq. por.	1,0000	m3	314,17	314,17		
1 A 02 702 00 - Limpeza e enchim. junta pav. concr.(const e rest)	0,8300	m	3,26	2,71		
Custo Total das Atividades					323,70	
E - Transporte de Materiais	Toneladas /	Unidade de Serviço		Custo Unitário		
M202 - Cimento portland CP II-32	0,4300					
M604 - Aditivo plastiment BV-40	0,0015					
Página 421						
Emitido em: 22/08/2016						
DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Construção Rodoviária			SICRO2
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina			RCTR0320
Mês : Março / 2016			Produção da Equipe : 11,20 m3			(Valores em R\$)
2 S 02 607 00 - Concreto cimento portland c/ equip. pequeno porte						
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas /	Unidade de Serviço		Custo Unitário		
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica	0,8475					
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	1,1280					
1 A 01 657 00 - Usinagem p/ conc.cim. portland c/ equip. peq. por.	2,4000					
Custo Unitário Direto Total					373,63	
Lucro e Despesas Indiretas (34,32 %)					128,23	
Preço Unitário Total					501,86	

Página 421

Emitido em: 22/08/2016

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária	SICRO2
Custo Unitário de Referência		Santa Catarina	RCTR0320
Mês : Março / 2016			
2 S 02 607 00 - Concreto cimento portland c/ equip. pequeno porte		Produção da Equipe : 11,20 m3	(Valores em R\$)
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas /	Unidade de Serviço	Custo Unitário
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica		0,8475	
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h		1,1280	
1 A 01 657 00 - Usinagem p/ conc.cim. portland c/ equip. peq. por.		2,4000	
Custo Unitário Direto Total			373,63
Lucro e Despesas Indiretas (34,32 %)			128,23
Preço Unitário Total			501,86

Observações : Especificação de serviço: DNER-322
O transporte deve ser calculado na fase de orçamento, com as distâncias médias de transporte de cada trecho, utilizando-se as composições de momentos de transporte do SICRO2.
As quantidades indicadas nos itens de transporte de materiais referem-se ao consumo de materiais a serem transportados, por unidade de serviço.

Fonte: Brasil (2016).

Quadro 29 - Composição SINAPI para a Base de Solo-Cimento

72919	BASE DE SOLO CIMENTO 4% MISTURA EM USINA, COMPACTACAO 100% PROCTOR NORMAL, EXCLUSIVE ESCAVACAO, CARGA E TRANSPORTE DO SOLO	M3	
5932	MOTONIVELADORA POTÊNCIA BÁSICA LÍQUIDA (PRIMEIRA MARCHA) 125 HP, PESO BRUTO 13032 KG, LARGURA DA LÂMINA DE 3,7 M - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,004127
5934	MOTONIVELADORA POTÊNCIA BÁSICA LÍQUIDA (PRIMEIRA MARCHA) 125 HP, PESO BRUTO 13032 KG, LARGURA DA LÂMINA DE 3,7 M - CHI DIURNO. AF 06/2014	CHI	0,009187
5944	PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA 197 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 2,5 A 3,5 M3, PESO OPERACIONAL 18338 KG - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,008521
5946	PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA 197 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 2,5 A 3,5 M3, PESO OPERACIONAL 18338 KG - CHI DIURNO. AF 06/2014	CHI	0,004793
6879	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 111 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,5 / 26 T, LARGURA DE TRABALHO 1,90 M - CHP DIURNO. AF 07/2014	CHP	0,004527
6880	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 111 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,5 / 26 T, LARGURA DE TRABALHO 1,90 M - CHI DIURNO. AF 07/2014	CHI	0,008787
73374	USINA PRE-MISTURADORA DE SOLOS CAPAC 350/600T/H (CF) INCL EQUIPE DE OPERACAO	H	0,009985
73395	GRUPO GERADOR ESTACIONÁRIO, MOTOR DIESEL POTÊNCIA 170 KVA - CHI DIURNO. AF 02/2016	CHI	0,003328
73417	GRUPO GERADOR 150 KVA- CHP	CHP	0,009985
73559	USINA PRE-MISTURADORA DE SOLOS CAPAC 350/600T/H (CI) INCL EQUIPE DE OPERACAO	H	0,003328
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,053255
89219	ROLO COMPACTADOR VIBRATORIO DE UM CILINDRO LISO DE ACO, POTENCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MAXIMO 8,5 T, LARGURA TRABALHO 1,676 M - DEPRECIACAO. AF 06/2014	H	0,013314
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	71

Fonte: Caixa Econômica Federal (2016).

Quadro 30 - Composição SINAPI para a camada de Concreto Asfáltico

72965	FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ), CAP 50/70, EXCLUSIVE TRANSPORTE	T	
5684	ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO AÇO LISO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,1 T, IMPACTO DINÂMICO 16,15 / 9,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,68 M - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,01563
5685	ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO AÇO LISO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,1 T, IMPACTO DINÂMICO 16,15 / 9,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,68 M - CHI DIURNO. AF 06/2014	CHI	0,01563
5835	VIBROACABADORA DE ASFALTO SOBRE ESTEIRAS, LARGURA DE PAVIMENTAÇÃO 1,90 M A 5,30 M, POTÊNCIA 105 HP CAPACIDADE 450 T/H - CHP DIURNO. AF 11/2014	CHP	0,01563
5837	VIBROACABADORA DE ASFALTO SOBRE ESTEIRAS, LARGURA DE PAVIMENTAÇÃO 1,90 M A 5,30 M, POTÊNCIA 105 HP CAPACIDADE 450 T/H - CHI DIURNO. AF 11/2014	CHI	0,01563
5871	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 99 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,45 / 21,0 T, LARGURA DE ROLAGEM 2,265 M - CHP DIURNO. AF 02/2016	CHP	0,01563
5873	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 99 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,45 / 21,0 T, LARGURA DE ROLAGEM 2,265 M - CHI DIURNO. AF 02/2016	CHI	0,01563
72962	USINAGEM DE CBUQ COM CAP 50/70, PARA CAPA DE ROLAMENTO	T	1
88314	RASTELEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,09375
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,125

Fonte: Caixa Econômica Federal (2016).

Quadro 31 - Composição SINAPI para a Base de brita graduada

73710	BASE PARA PAVIMENTAÇÃO COM BRITA GRADUADA, INCLUSIVE COMPACTAÇÃO	M3	
5684	ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO AÇO LISO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,1 T, IMPACTO DINÂMICO 16,15 / 9,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,68 M - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,0094
5940	PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA LÍQUIDA 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,0094
5942	PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA LÍQUIDA 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG - CHI DIURNO. AF 06/2014	CHI	0,0031
6259	CAMINHÃO PIPA 6.000 L, PESO BRUTO TOTAL 13.000 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,80 M, POTÊNCIA 189 CV INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA, CAPACIDADE 6 M3 - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,0125
73353	COMPACTADOR DE PNEUS AUTO-PROPULSOR DIESEL 76HP C/7 PNEUS-CI- PESO 5,5/20T INCL OPERADOR	H	0,0025
73390	COMPACTADOR DE PNEUS AUTO-PROPULSOR DIESEL 76HP C/7 PNEUS-CP -PESO 5,5/20T INCL OPERADOR	H	0,01
73402	USINA PRE-MISTURADORA DE SOLOS CAPAC 350/600T/H (CP) INCL EQUIPE DE OPERAÇÃO	H	0,0125
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,105
89035	TRATOR DE PNEUS, POTÊNCIA 85 CV, TRAÇÃO 4X4, PESO COM LASTRO DE 4.675 KG - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,0125
89227	ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO LISO DE AÇO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,676 M - CHI DIURNO. AF 06/2014	CHI	0,0031
92043	DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS REBOCAVEL, CAPACIDADE 1,9 M³, LARGURA DE TRABALHO 3,66 M - CHP DIURNO. AF 11/2015	CHP	0,0125
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,77
4721	PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,77

Fonte: Caixa Econômica Federal (2016).

Quadro 32 - Composição SINAPI para o Tratamento Superficial Duplo

72958	TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO - TSD, COM EMULSAO RR-2C	M2	
6879	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 111 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,5 / 26 T, LARGURA DE TRABALHO 1,90 M - CHP DIURNO. AF 07/2014	CHP	0,00462
6880	ROLO COMPACTADOR DE PNEUS ESTÁTICO, PRESSÃO VARIÁVEL, POTÊNCIA 111 HP, PESO SEM/COM LASTRO 9,5 / 26 T, LARGURA DE TRABALHO 1,90 M - CHI DIURNO. AF 07/2014	CHI	0,00308
7018	DISTRIBUIDOR DE BETUME 6000L 56CV SOB PRESSAO MONTADO SOBRE CHASSIS DE CAMINHAO - CHP	CHP	0,00385
7021	DISTRIBUIDOR DE BETUME 6000L 56CV SOB PRESSAO MONTADO SOBRE CHASSIS DE CAMINHAO - MANUTENCAO	H	0,00385
67826	CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3 TOCO, PESO BRUTO TOTAL 16.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 11.130 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 5,36 M, POTÊNCIA 185 CV, INCLUSIVE CAÇAMBA METÁLICA - CHP DIURNO. AF 06/2014	CHP	0,00769
73408	DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS AUTOPROPELIDO, CAP 3 M3, A DIESEL, 6 CC, 140 CV, CHP	CHP	0,00769
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,05385
505	EMULSAO ASFALTICA CATIONICA RR-2C PARA USO EM PAVIMENTACAO ASFALTICA (COM ICMS)	KG	2,3
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,0247

Fonte: Caixa Econômica Federal (2016).